

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES**

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de:**

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÉRULA PARA PERSONAS CON LESIONES  
EN LA MUÑECA Y DEL NERVIO RADIAL**

**Autores:**

Diana Catherine Guananga Chavarrea

Ángel Fernando Vinueza Naranjo

**Tutor:**

Mgs. José Luis Jinez Tapia

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2019**

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÉRULA PARA PERSONAS CON LESIONES EN LA MUÑECA Y DEL NERVIO RADIAL**, presentado por: **Diana Catherine Guananga Chavarrea y Ángel Fernando Vinueza Naranjo**, dirigida por **Mgs. José Luis Jinez Tapia**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firma

Mgs. Deysi Inca

**Presidente del Tribunal**

**Firma**

Mgs. Marco Nolivos

**Miembro del Tribunal**

**Firma**

Mgs. Cristian Rocha

**Miembro del Tribunal**

**Firma**

## DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÉRULA PARA PERSONAS CON LESIONES EN LA MUÑECA Y DEL NERVIO RADIAL**, Realizado por la Srta. **Diana Catherine Guananga Chavarrea** y por el Sr. **Ángel Fernando Vinueza Naranjo**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúnen los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, 02 de mayo de 2019

Mgs. José Luis Jinez  
C.I 060289900-7  
**TUTOR**



**Firma**

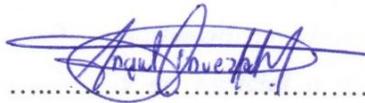
## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación corresponde exclusivamente a **Diana Catherine Guananga Chavarrea, Ángel Fernando Vinueza Naranjo, Mgs. José Luis Jinez**; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....  
Diana Catherine Guananga Chavarrea

C.I. 060469570-0



.....  
Ángel Fernando Vinueza Naranjo

C.I. 060411785-3

## DEDICATORIA

*“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber – **Albert Einstein**–”.*

*Este proyecto lo dedico a Dios, creador de todas las cosas, por protegerme y acompañarme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.*

*A mi mamá Rosita, por su amor incondicional, trabajo y esfuerzo que ha permitido que logre culminar mi carrera profesional, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

*A mis hermanas y hermanos, ejemplos a seguir, por su amor, consejos, y por estar siempre pendiente de mí, por darme alientos de ánimo y moral ante cualquier adversidad y en especial a mi hermano José, un angelito que se encuentra en el cielo.*

*A mi novio, Alex, quien me brindó su amor, estímulo y apoyo constante a lo largo de mi etapa estudiantil.*

***Con amor Diana.***

## DEDICATORIA

*"El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo – Nikola Tesla-".*

*El proyecto lo dedico a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.*

*A mis padres Ángel y Patricia, por su amor, trabajo, esfuerzo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar a una meta más de mi vida, convirtiéndome cada día en un hombre exitoso y de bien.*

*A mi esposa Carito y mi hija Carolina por estar siempre presentes y brindarme un amor incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.*

*A todas las personas en especial Sra. Aurora Azadobay y familia que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito.*

***Con mucho amor Ángel.***

## AGRADECIMIENTO

*Le agradecemos a Dios, nuestro creador, por ser nuestra luz y apoyo, por darnos la vida, sabiduría e inteligencia y por haber permitido vivir hasta este día y cumplir nuestros sueños tan anhelados.*

*Por el apoyo brindado a lo largo de nuestras vidas, les agradecemos a nuestros padres por los valores que nos han inculcado y por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación.*

*A nuestros hermanos por ser parte importante de nuestras vidas, por apoyarnos en aquellos momentos de necesidad, representar la unidad familiar y por ser ejemplos de desarrollo profesional.*

*A nuestras parejas y familiares por compartir cada uno de aquellos momentos especiales e inolvidables, los cuales hoy son motivos para seguir persiguiendo sueños.*

*A nuestros amigos por confiar y creer en nosotros y habernos hecho de nuestra etapa universitaria un trayecto de vivencias y risas que nunca olvidaremos.*

*A nuestros profesores, les agradecemos por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que nos transmitieron.*

*A nuestro tutor, Ingeniero José Jinez, por creer en nosotros, por disponernos de su tiempo, orientación, asesorarnos en esta tesis y por todo lo que él nos ha enseñado.*

***Diana y Ángel.***

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
1. OBJETIVOS .....	3
1.1 GENERAL .....	3
1.2 ESPECÍFICOS .....	3
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>4</b>
2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA .....	4
2.1 ANTECEDENTES .....	4
2.2 NERVIO RADIAL .....	4
2.2.1 FUNCIONES MOTORAS .....	4
2.2.2 FUNCIONES SENSORIALES.....	5
2.2.3 CAUSAS PRINCIPALES .....	5
2.2.4 COMPLICACIONES.....	6
2.3 LESIÓN MANO CAÍDA.....	6
2.4 LESIÓN DEL NERVIO .....	7
2.4.1 TRATAMIENTO.....	7
2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES DE LOS NERVIOS .....	7
2.4.2.1 NEUROPRAXIA O LESIÓN DE PRIMER GRADO .....	7
2.4.2.2 AXONOTMESIS O LESIÓN DE SEGUNDO GRADO .....	8
2.5 FÉRULA .....	8
2.6 ELECTROESTIMULACIÓN .....	8
2.6.1 ELECTROESTIMULACIÓN Y EFICACIA .....	9
2.7 ELECTRODOS.....	10
2.7.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	10

2.8	SERVOMOTOR DE ROTACIÓN CONTINUA.....	11
2.9	SERVOMOTOR DIGITAL DS3218.....	11
2.9.1	ESPECIFICACIONES .....	11
2.10	SENSOR FLEX.....	12
2.11	MCP41010 .....	12
2.12	TIP 31 .....	13
2.13	PLACA ARDUINO UNO .....	13
2.13.1	PINES ESPECIALES DE ENTRADA Y SALIDA.....	13
2.14	ARDUINO NANO - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	13
2.15	MATLAB.....	14
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>15</b>
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.1.1	INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA.....	15
3.1.2	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	15
3.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.2.1	MÉTODO INDUCTIVO .....	15
3.2.2	MÉTODO CIENTÍFICO.....	16
3.3	TÉCNICAS .....	16
3.3.1	OBSERVACIÓN .....	16
3.3.2	FUENTES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	16
3.4	INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.5	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.....	17
3.5.1	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA.....	17
3.5.2	DISEÑO DE LA FÉRULA.....	18
3.5.2.1	CONEXIÓN DE LOS SERVOMOTORES Y ARDUINO UNO .....	18
3.5.3	DISEÑO DE LA BASE DE DATOS .....	20
3.5.4	DISEÑO DEL ELECTROESTIMULADOR.....	23
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>29</b>

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	29
4.1.1	RESULTADOS DE LA REHABILITACIÓN DEL NERVIO RADIAL CON LA AYUDA DE LA FÉRULA .....	29
4.1.2	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ELECTROESTIMULADOR .....	36
4.2	DISCUSIÓN .....	39
	<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>40</b>
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1	CONCLUSIONES .....	40
5.2	RECOMENDACIONES .....	40
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>42</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Recorrido del nervio radial .....	4
<b>Figura 2</b>	Lesión del nervio radial - mano caída.....	6
<b>Figura 3</b>	Diferentes tipos de lesiones del nervio.....	7
<b>Figura 4</b>	Órtesis para parálisis radial.....	8
<b>Figura 5</b>	Cadena que sigue el electroestimulador para una contracción muscular .....	9
<b>Figura 6</b>	Ejemplo de una señal pulsada por electroestimulador a alta frecuencia (100Hz) ...	10
<b>Figura 7</b>	Ejemplo de una señal pulsada por electroestimulador a baja frecuencia (5Hz) .....	10
	.....	11
<b>Figura 8</b>	Pulso mínimo y máximo para determinar el grado de movimiento del servomotor	11
<b>Figura 9</b>	Servomotor digital DS3218 .....	11
<b>Figura 10</b>	Sensor flex .....	12
<b>Figura 11</b>	Potenciómetro digital MCP41010.....	12
<b>Figura 12</b>	Transistor NPN .....	13
<b>Figura 13</b>	Arduino Uno .....	13
<b>Figura 14</b>	Arduino nano .....	14
<b>Figura 15</b>	MATLAB .....	14
<b>Figura 16</b>	Diagrama de bloques general del sistema .....	17
<b>Figura 17</b>	Diseño de la férula dinámica automática.....	18
<b>Figura 20</b>	Diagrama de bloques del funcionamiento de la férula .....	18
<b>Figura 18</b>	Conexión de los dos servomotores a la tarjeta de Arduino .....	19
<b>Figura 19</b>	Instalación de la librería de Arduino Uno en Matlab .....	19
<b>Figura 21</b>	Diseño de la ficha médica en Guide- Matlab.....	20
<b>Figura 22</b>	Toma de fotografía del paciente .....	20
<b>Figura 23</b>	Foto almacenada en una carpeta creada por el sistema .....	21
<b>Figura 24</b>	Acceso de la fotografía del paciente .....	21
<b>Figura 25</b>	Ficha médica en Excel.....	21

<b>Figura 26</b> Ingreso a la plataforma con usuario y contraseña .....	22
<b>Figura 27</b> Mensaje de acceso al sistema.....	22
<b>Figura 28</b> Tipo de lesión que padece el paciente .....	23
<b>Figura 29</b> Interfaz que permite la selección del día del tratamiento-lesión leve .....	23
<b>Figura 30</b> Diagrama de Bloques del funcionamiento del electroestimulador .....	24
<b>Figura 33</b> Conexión del Arduino y MCP41010 a través de la interfaz SPI .....	25
<b>Figura 34</b> Conexión del Arduino, MCP41010 y Tip31.....	26
<b>Figura 36</b> Salida del transformador al conector de los dos electrodos.....	26
<b>Figura 38</b> Conexión del sensor flex con Arduino .....	28
<b>Figura 39</b> Diseño de la ficha médica realizada en el Guide Matlab .....	29
<b>Figura 40</b> Base de datos de la ficha médica exportada automáticamente de Matlab a Excel	30
<b>Figura 41</b> Diferentes contraseñas de asignación por parte del fisioterapeuta al paciente. ....	30
<b>Figura 42</b> Resultados en tiempo real de los movimientos y recuperación tras el primer día de rehabilitación de la lesión leve.....	34
<b>Figura 43</b> Resultados en tiempo real de los movimientos y recuperación final de rehabilitación de la lesión leve.....	34
<b>Fuente:</b> Autores.....	34
<b>Figura 44</b> Estadística del día 1 y 2 del mejoramiento del paciente en la base de datos.....	35
<b>Fuente:</b> Autores.....	35
<b>Figura 45</b> Estadística del día 7 y 8 del mejoramiento del paciente en la base de datos .....	35
<b>Fuente:</b> Autores.....	35
<b>Figura 46</b> Resultado final de la rehabilitación de la lesión leve del nervio radial en la base de datos .....	36
<b>Fuente:</b> Autores.....	36
<b>Figura 48</b> Estadística que representa el rango que debe manejar la resistencia digital de 180 a 255.....	37
<b>Figura 50</b> Resultados en el monitor serie de Arduino que representa la amplitud máxima que maneja el potenciómetro digital.....	37

<b>Figura 51</b> Tiempos de reposo y amplitud ajustable .....	38
<b>Figura 52</b> Aprobación del electroestimulador dirigido por el docente de fisioterapia de la UNACH.....	38
<b>Figura 53</b> Pruebas del funcionamiento de la férula .....	44
<b>Figura 54</b> Ajustes de la muñeca y mano a la férula para la rehabilitación del nervio .....	44
<b>Figura 55</b> Pruebas del funcionamiento del electroestimulador a diferentes frecuencias y trenes de pulso. ....	44
<b>Fuente:</b> Autores.....	44
<b>Figura 56</b> Pruebas del electroestimulador con el docente de fisioterapia de la UNACH ....	45
<b>Figura 57</b> Pruebas del funcionamiento del electroestimulador .....	45
<b>Figura 58</b> Electroestimulador con frecuencias de 18 y 83 Hz y con una intensidad de 7mA. ....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Frecuencias que se definen en el diseño del electroestimulador según las necesidades del paciente. ....	9
<b>Tabla 2</b> Datos utilizables en el tren de pulsos para obtener una frecuencia de 18Hz .....	24
<b>Tabla 3</b> Datos utilizables en el tren de pulsos para obtener una frecuencia de 83Hz .....	25
<b>Tabla 4</b> Resultados del tratamiento de la lesión leve del nervio radial .....	33
<b>Tabla 5</b> Frecuencias recomendadas por el fisioterapeuta al momento de utilizar el guante. ..	36
<b>Tabla 6</b> Frecuencias recomendadas por el fisioterapeuta al momento de utilizar la férula automática. ....	37

## RESUMEN

El presente proyecto realiza el control, monitoreo y electroestimulación en personas que presenten lesiones del nervio radial, que debido a su discapacidad de inmovilidad de la muñeca y mano requieren ser atendidos diariamente por un fisioterapeuta, dichas rehabilitaciones si no se atienden a tiempo puede causar que la lesión se prolongue o la pérdida total de la movilidad de la mano.

Para el diseño de la férula se utilizó materiales de acero quirúrgico y textil que brinda comodidad al paciente, la cual permitirá rehabilitaciones de movimientos de abajo hacia arriba e izquierda a derecha de la muñeca y mano con la ayuda de dos servomotores controlados desde Matlab independientemente del tipo de lesión que presente.

Al sistema de rehabilitación el paciente debe acceder con su usuario y contraseña; consta de una ficha médica y captura fotográfica los cuales serán llenados por el paciente en cualquier lugar y posteriormente enviados automáticamente a la base de datos.

Los resultados obtenidos del avance de la rehabilitación diaria, semanal o mensual de la muñeca y mano se visualizan en Excel mediante gráficas y porcentajes estadísticos que serán controladas y administradas por el fisioterapeuta encargado del paciente.

Para la total rehabilitación del nervio radial es con la ayuda de un electroestimulador, la cual se diseñó con una frecuencia de 18 y 83Hz con un tren de pulsos triangular y una intensidad de 7mA, el mismo que será adaptado en el antebrazo por dos electrodos y activados por el sensor flex.

### Abstract

The present research project is intended to perform the control and electrostimulation in people who present radial nerve injuries, due to their disability of immobility of the wrist and hand and require to be attended daily by a physiotherapist, these rehabilitations if the patient is not attended on time can cause the injury to be prolonged or cause the total loss of mobility of the hand. For the design of the splint, surgical and textile steel materials were used that provide comfort to the patient, which will allow rehabilitation of movements from bottom to top and left to right of the wrist and hand with the help of two servomotors controlled from Matlab regardless of the type of injury that is present. To the rehabilitation system the patient must access with your username and password; it consists of a medical file and photographic capture, which will be filled by the patient anywhere and then automatically sent to the database. The results obtained from the daily, weekly or monthly rehabilitation of the wrist and hand are displayed in excel using graphs and statistical percentages that will be controlled and administered by the physiotherapist in charge of the patient. For the total rehabilitation of the radial nerve is with the help of an electro stimulator, which was designed with a frequency of 18 and 83Hz with a triangular pulse train and an intensity of 7mA, which will be adapted in the forearm by two electrodes and activated by the flex sensor.

The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Sonia Granizo'. To the right of the signature is a circular official seal of the University of Pinar del Rio, featuring a central emblem and text in Spanish.

Reviewed by: Granizo, Sonia

Language Center Teacher

# INTRODUCCIÓN

## **Formulación del Problema**

¿El diseño e implementación de una férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial ayudará a la rehabilitación en el área de fisioterapia de una manera eficiente y económica?

## **Justificación del problema**

El motivo del presente estudio tiene como finalidad investigar los resultados al diseñar e implementar una férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo.

Justificamos nuestra investigación al observar diversos problemas en el área de Fisioterapia:

## **Problema**

Hoy en día las personas profesionales en el área de fisioterapia, ofertan sus servicios de rehabilitación, (muñeca y del nervio radial) en su mayoría a través de procedimientos manuales, mediante movimientos físicos por un periodo de tiempo según la afección a tratar. De manera que este proceso no permite optimizar varios factores, el proceso de rehabilitación inicia desde que el paciente ingresa a la consulta y se le da un diagnóstico claro y conciso, el especialista procede a abrir el historial con todos los datos requeridos, a continuación se procede a la rehabilitación del paciente, la persona encargada de dicho procedimiento utiliza una serie de equipos de electroestimulación acompañados de un movimiento de sus manos (desgaste físico) por largos o cortos periodos para que la persona vaya recuperando su movilidad, por otro lado, tanto la persona atendida y el especialista deben esperar un periodo de tiempo para ver sus resultados y el nivel de mejoría producido con la terapia recibida, creando de esa manera grandes pérdidas de tiempo y dinero.

## **Propuesta**

Para lo cual proponemos y damos solución mediante el diseño e implementación de una férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial, tratando de que el equipo se encargue de cada uno de los procesos.

Beneficiando de esta manera al especialista y al paciente. El fisioterapeuta podrá reducir tiempos e incrementará la atención a más pacientes, dependiendo del número de equipos que posea. Por otra parte, el paciente podrá adquirir un equipo para realizar la rehabilitación desde la comodidad de su casa con un entrenamiento previo por el especialista, de esa manera nuestra propuesta optimiza recursos económicos y de tiempo.

Esta investigación se enfoca en el diseño e implementación de un dispositivo, que permita la rehabilitación de personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial, con el fin de brindar un apoyo y un continuo monitoreo del estado de la lesión conforme al tiempo de recuperación. Las lesiones de muñeca y de nervio radial contienen información que nos indican el grado de inmovilidad que presenta una parte fundamental del cuerpo como es la mano, tomando en cuenta las constantes visitas al médico afectando así las condiciones físicas y psicológicas del paciente. Existen 2 grados de movilidad de la muñeca, su flexión es de aproximadamente 70 a 90 grados y la extensión es de aproximadamente 65 a 85 grados de la muñeca normal.

La constante visita a rehabilitaciones puede causar en el paciente una recuperación no tan satisfactoria, estos incluyen el compromiso de tiempo al programa, la disponibilidad de servicios, el impacto de la terapia sobre otros miembros de la familia y el costo que implica la atención continua. Para ello se diseñó un sistema con una estructura fácil de manejar, debido a su diseño e interfaz gráfica que hace que su interacción con el paciente sea llevada a cabo sin complicaciones y con éxito.

- **Hipótesis**

¿Diseñar e implementar una férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial mejorará el proceso de rehabilitación?

- **Variables**

Férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial (Variable Independiente)

Mejorar el proceso de rehabilitación. (Variable Dependiente)

# CAPÍTULO I

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 GENERAL

- Diseñar e implementar una férula para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial aplicando técnicas de fisioterapia.

### 1.2 ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico mediante la investigación en el área de fisioterapia con pacientes con lesiones del nervio radial.
- Proponer una férula automática y un sistema de electroestimulación para personas con lesiones en la muñeca y del nervio radial que permita optimizar el factor tiempo y económico.
- Estudiar los diferentes tipos de programas, herramientas y equipos necesarios para el diseño e implementación de la férula y del electroestimulador.
- Controlar la férula desde el sistema de control diseñado en Guide- Matlab y a la vez monitorear los ángulos de movimiento de la muñeca de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha.
- Procesar toda la información del paciente automáticamente desde Matlab a la base de datos.

## CAPÍTULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA

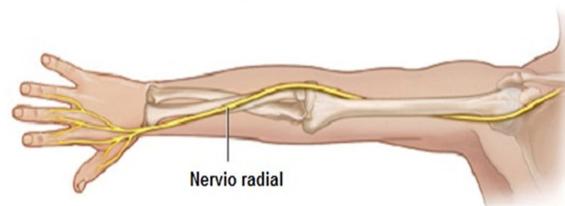
#### 2.1 ANTECEDENTES

Hoy en día la electrónica ha evolucionado a pasos agigantados y gracias a estos grandes avances se han inclinado por el perfeccionamiento o mejoramiento de la medicina tradicional es por lo que esta no puede desarrollarse sola, sino que necesita ir de la mano de la Ingeniería, y en especial de la Electrónica para poder avanzar. Es muy importante destacar que la electromedicina facilita el tratamiento de los médicos.

#### 2.2 NERVIO RADIAL

El nervio radial supe terminaciones nerviosas de músculos del brazo, antebrazo, muñeca y mano. Puede aportar la sensibilidad en el dorso de la mano y la mayor parte de músculos que el nervio radial activa son los extensores; por lo que el signo más característico de parálisis del nervio radial es "la mano caída". (Silván, 2017)

Este nervio aporta una función tanto motora (que es responsable del movimiento voluntario del cuerpo) como la función sensorial (se refiere al sentido del tacto, etc.) al brazo y al antebrazo. Según la Organización Mundial de la Salud el daño a un grupo de nervios, como el nervio radial se le denomina mononeuropatía que significa que hay daño a un solo nervio.



**Figura 1** Recorrido del nervio radial

**Fuente:** (Silván, 2017)

##### 2.2.1 FUNCIONES MOTORAS

- El nervio radial otorga movimiento a los músculos localizados en la parte posterior de la zona superior del brazo, así como en el antebrazo posterior.

- En la zona superior del brazo el nervio radial inerva las tres cabezas del tríceps braquial, lo que ayuda a extender el brazo en el codo.
- La rama profunda del nervio radial, que es una rama terminal, inerva el resto de los músculos del antebrazo posterior. Por lo general, estos músculos sirven para extender las articulaciones de la muñeca y de los dedos. Asimismo, permiten la supinación del antebrazo. (Silván, 2017)

### **2.2.2 FUNCIONES SENSORIALES**

Existen cuatro ramas del nervio radial que otorgan inervación cutánea a la piel de las extremidades superiores. Tres de ellas se originan en el brazo superior. Estas ramas son:

- Nervio cutáneo lateral inferior del brazo: este da sensibilidad a la cara lateral de la parte superior del brazo, debajo del músculo deltoideos.
- Nervio cutáneo posterior del brazo: activa la superficie posterior del brazo superior.
- Nervio cutáneo posterior del antebrazo: inerva un área de piel que recorre la mitad del antebrazo, desde el codo a la muñeca.
- Rama superficial: es la división terminal del nervio radial. Activa la superficie del dorso de la mano, así como de los dedos pulgar, índice, corazón y mitad del anular. (Silván, 2017)

### **2.2.3 CAUSAS PRINCIPALES**

Los mecanismos de producción de las lesiones del nervio radial pueden ser ocasionados por varias situaciones como:

- Fractura del hueso del brazo
- Diabetes
- Uso inadecuado de muletas
- Anestesia prolongada

- Intoxicación alcohólica aguda
- Por el uso de relojes de pulsera apretada
- Presión a la parte superior del brazo durante el sueño
- El estado de coma o fatiga extrema, etc.

#### **2.2.4 COMPLICACIONES**

Las complicaciones más frecuentes a causa de la lesión del nervio radial son:

- Daño permanente del nervio con la consecuente pérdida total o parcial de movimientos
- Sensibilidad de la muñeca y la mano
- Dolor crónico
- Posible formación de neuromas disestésicos al tacto
- Presión cutánea en el trayecto neural y atrofia muscular
- Cirugía riesgosa (Caballero Herráez, 2013)

#### **2.3 LESIÓN MANO CAÍDA**

La parálisis del nervio radial también conocida como mano caída, es una enfermedad donde las personas no pueden extender su muñeca y esta cuelga flácidamente. Se debe resaltar que al perder la función del nervio radial se ve afectado negativamente los extensores de la muñeca, la sensibilidad de las extremidades superiores ya que este nervio es el encargado de transmitirla, el impedimento de la extensión con normalidad de la muñeca y resulta severamente afectado la libre extensión de los dedos de la mano. Para detectar que existe una parálisis del nervio radial, se suelen realizar diversas pruebas como son: la resonancia magnética, electromiograma o biopsia.

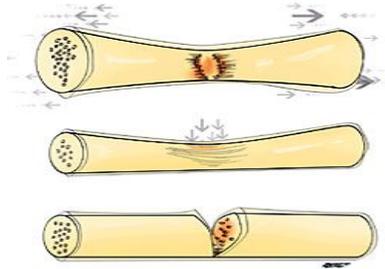


**Figura 2** Lesión del nervio radial - mano caída

**Fuente:** (Florez, 2017)

## 2.4 LESIÓN DEL NERVIIO

A los nervios se los puede definir como cables encargados de llevar la información del cerebro a los músculos para contraerse, capaces de recibir la información de estímulos sensitivos del exterior y trasmitirlo al cerebro. Existen nervios motores (los primeros), sensitivos (los segundos), y mixtos, que cumplen ambas funciones. (Juarez Cesca, 2014)



*Figura 3* Diferentes tipos de lesiones del nervio

*Fuente:* (Juarez Cesca, 2014)

### 2.4.1 TRATAMIENTO

Ante la presencia de una lesión nerviosa, se deberá evaluar el tipo de lesión y el grado de lesión (parcial, o total). Dependiendo de estos factores, el especialista evaluará entre la observación o la cirugía. Es esencial entender que las lesiones de los nervios requieren un tiempo prolongado para la recuperación, y que en ocasiones es parcial o incluso nula. El pronóstico es bueno en lesiones menores a los 6 meses transcurridos desde la lesión. Pasado ese tiempo, los resultados de una cirugía reparadora son cada vez menos alentadores. (Juarez Cesca, 2014)

### 2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES DE LOS NERVIOS

#### 2.4.2.1 NEUROPRAXIA O LESIÓN DE PRIMER GRADO

Daño localizado en la mielina y se obtiene una recuperación completa en pocos días o semanas. La pérdida funcional es variable es decir que la función motora es más afectada que la función sensitiva. Las funciones sensitivas son alteradas por orden de frecuencia decreciente de la siguiente forma: propiocepción, tacto, temperatura y dolor. Una de las características más importantes de este tipo de lesión es el retorno simultáneo de la función motora en la musculatura proximal y distal. (López, 2014)

#### 2.4.2.2 AXONOTMESIS O LESIÓN DE SEGUNDO GRADO

Lesión más importante con rotura del axón y mielina y se obtiene una recuperación espontánea en meses con una buena actividad funcional. El axón se somete a los procesos de degeneración y regeneración, pero con las máximas probabilidades de una recuperación funcional; al llegar el axón regenerado a su diana periférica sin pérdida se conserva el tubo endoneural, esto corresponde a la llamada axonotmesis. (López, 2014)

#### 2.5 FÉRULA

Las férulas son dispositivos ortopédicos y como tales, según definición de la Organización Mundial de la Salud, son un apoyo o un dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. Una férula en la muñeca puede ayudar a aliviar los síntomas y a prevenir posibles deformaciones y lesiones. (Tapia, Meneses, Ayala, & Bañados, 2015)



*Figura 4 Órtesis para parálisis radial*

*Fuente:* (Tapia, Meneses, Ayala, & Bañados, 2015)

#### 2.6 ELECTROESTIMULACIÓN

La electroestimulación es considerada como la forma de electroterapia y a la vez una técnica que permite la generación de contracciones musculares a través de impulsos eléctricos producidos por electro estimulador que es conectado al cuerpo a través de pequeños electrodos en la piel. Es capaz de producir el tipo de corriente específica o distintos tipos de corrientes en función a las necesidades del paciente para lograr el impulso eléctrico capaz de generar una respuesta motora. Por norma general, un electroestimulador trabaja a frecuencias de entre 2 y 120 Hz. (eFisioterapia.net, 2015)



**Figura 5** Cadena que sigue el electroestimulador para una contracción muscular

*Fuente: Autores*

El electroestimulador ejerce la función de la neurona motora, enviando un impulso eléctrico a las fibras musculares para que se contraiga el músculo sin que el cerebro haya dado la orden (contracción involuntaria).

El tipo de frecuencia seleccionado es la clave para indicarle a nuestro cuerpo que tipo de fibra a activar esencialmente, por decirlo de otro modo: el modo de frecuencia elegido será capaz de estimular el tipo de fibra muscular que deseemos en ese momento. Entre 2 y 4 Hz obtendremos un efecto relajante del músculo que estamos trabajando.

Frecuencias (Hz)	Efectos
<b>1 a 10</b>	Relajación, aumento de la circulación sanguínea y de secreción de endorfinas.
<b>10 a 20</b>	Mejora de la resistencia aeróbica muscular (capacidad oxidativa del músculo).
<b>20 a 50</b>	Mejora del tono muscular, de la definición muscular y de la firmeza muscular (efectos estéticos y primeras fases de rehabilitación)
<b>40 a 70</b>	Mejora de las capacidades lácticas del músculo y aumento del volumen muscular.
<b>70 a 120</b>	Activación de fibras musculares más rápidas y mayor efecto analgésico.
<b>90 a 150</b>	Mejora de la fuerza explosiva, elástica y reactiva.

**Tabla 1** Frecuencias que se definen en el diseño del electroestimulador según las necesidades del paciente.

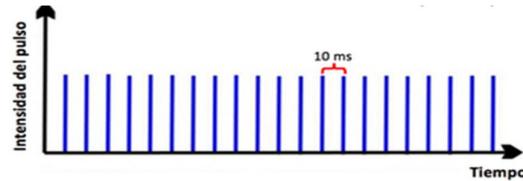
*Fuente: Autores*

### 2.6.1 ELECTROESTIMULACIÓN Y EFICACIA

La eficacia de la electroestimulación está relacionada con la intensidad aplicada, a mayor intensidad más número de motoneuronas activadas (motoneuronas son aquellas neuronas que

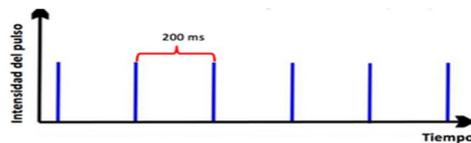
transmiten los impulsos nerviosos desde el Sistema Nervioso Central a los diferentes músculos del cuerpo para que se contraigan o se relajen).

El tipo de impulso es de crucial importancia para confortabilidad y eficacia. Pocos electroestimuladores tienen una onda completamente bifásica y rectangular. Las investigaciones demuestran la efectividad de este tipo de impulsos. Para saber qué tipo de onda emite el electroestimulador es conveniente comprobar estudios con osciloscopios. (Piñero, 2014)



**Figura 6** Ejemplo de una señal pulsada por electroestimulador a alta frecuencia (100Hz)

**Fuente:** (Gencasa, s.f.)



**Figura 7** Ejemplo de una señal pulsada por electroestimulador a baja frecuencia (5Hz)

**Fuente:** (Gencasa, s.f.)

## 2.7 ELECTRODOS

Los electrodos son elementos esenciales para la medicina, son los encargados de transformar en corrientes eléctricas las corrientes iónicas del cuerpo humano. Proporcionan una interface entre el cuerpo humano y los aparatos médicos de medida.

Los electrodos para estimulación deben ser diseñados para soportar corrientes muchos mayores. La forma de onda de estimulación y el material con el que se fabrica el electrodo son factores a tener en cuenta. (Biardo, 2013)

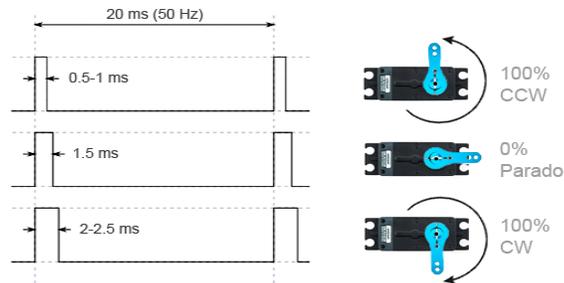
### 2.7.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Las características de los electrodos dependen de diversos factores como por ejemplo:

- La intensidad de la corriente que los atraviesa
- La forma de onda de la señal captada
- La frecuencia, etc. (Guerrero Martínez, 2012)

## 2.8 SERVOMOTOR DE ROTACIÓN CONTINUA

Estos servomotores son motores de corriente continua que incorporan un circuito electrónico que permite controlar de forma sencilla la dirección y la velocidad de giro de sus ejes mediante impulsos eléctricos (PWM). A diferencia de los servos estándar que solo giran 180° estos servos pueden girar hasta 360°. (Hidalgo Díaz & Martínez Núñez, 2013)



**Figura 8** Pulso mínimo y máximo para determinar el grado de movimiento del servomotor

**Fuente:** (Llamas, s.f.)

## 2.9 SERVOMOTOR DIGITAL DS3218

Es un servo estándar digital de alto rendimiento, tiene engranajes metálicos de alta precisión con anodizado duro con una alta rotación bien controlada de 270 grados y cuando se apaga posee una rotación de 360 grados. (Amazon, s.f.)



**Figura 9** Servomotor digital DS3218

**Fuente:** (Amazon, s.f.)

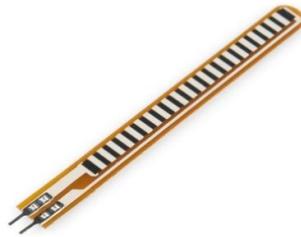
### 2.9.1 ESPECIFICACIONES

- Voltaje de operación: 4.8 ~ 6.8 DC Voltios
- Banda muerta: 3µs
- Tipo de motor: Motor Dc Digital
- Frecuencia de trabajo: 50-333Hz
- Torque grande: el par máximo es de hasta 21,5 kg / cm

- Pulso a 180° (PWM 500-2500µs)
- Cable blanco: Señal
- Cable Rojo: Positivo
- Cable Negro: Tierra

## 2.10 SENSOR FLEX

Los sensores flex son resistencias analógicas que varía en resistencia de aproximadamente 10 a 50 kOhms., trabajan como divisores de tensión analógica variable y produce una resistencia variable en función del grado al que este doblada. Cuando se dobla el sustrato del sensor produce una salida de resistencia en relación con el radio de curvatura, una flexión de 0° dará la resistencia de 10K y una flexión de 90° dará la resistencia entre 30 a 40 K ohmios. Es utilizada con Voltaje: 5 a 12 Volts.



*Figura 10 Sensor flex*

*Fuente: (rambal, s.f.)*

## 2.11 MCP41010

El MCP41010 es un potenciómetro digital de un solo canal y 8 bits, con un valor de resistencia máxima de 10 KΩ (valor mínimo de 100 Ω), una interfaz serial compatible con SPI. El MCP41010 consume <1 µA de corriente durante la operación estática, el voltaje de operación es de 2.7V a 5.5V y el ancho de banda es de -3dB de operación. (Microchip, s.f.)

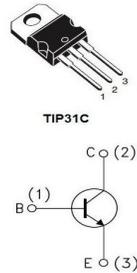


*Figura 11 Potenciómetro digital MCP41010*

*Fuente: (Microchip, s.f.)*

## 2.12 TIP 31

Es un transistor NPN de media potencia, con su  $I_C$  max: 3 A,  $I_C$  pico max: 5 A,  $I_B$  max: 1 A,  $P_{TOT}$ : 40 W, Aplicado específicamente en conmutación y amplificación lineal, amplificadores de audio y circuitos de propósito general.



**Figura 12** Transistor NPN

**Fuente:** (Electrónicos caldas, s.f.)

## 2.13 PLACA ARDUINO UNO

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega328. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de las cuales 6 se puede utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un 16 MHz resonador cerámico, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Como se puede ver en la figura 13.



**Figura 13** Arduino Uno

**Fuente:** (Arduino, s.f.)

### 2.13.1 PINES ESPECIALES DE ENTRADA Y SALIDA

- **RX y TX:** Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL.
- **AREF:** Voltaje de referencia para las entradas analógicas. (Arduino, s.f.)

## 2.14 ARDUINO NANO - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Microcontrolador: Atmel ATmega328

- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader
- Frecuencia de reloj: 16 MHz (Electronilab, s.f.)

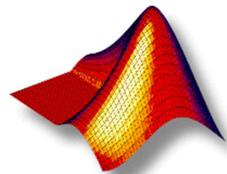


*Figura 14 Arduino nano*

*Fuente:* (Electronilab, s.f.).

## 2.15 MATLAB

Matlab es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional. (Montbrun, 2012)



*Figura 15 MATLAB*

*Fuente:* (Montbrun, 2012)

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA**

Este tipo de investigación tiene como objetivo principal el estudio de un problema que no se ha estudiado con mayor claridad, destinado a establecer prioridades, desarrollar definiciones operativas y comprensión del problema que enfrenta el investigador. La investigación exploratoria es una examinación de un tema en un intento de obtener más información. Con este tipo de investigación, el investigador comienza con una idea general y utiliza la investigación como una herramienta para identificar problemas que podrían ser el enfoque de futuras investigaciones. (Winston , 2014)

##### **3.1.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

La investigación experimental consiste en la manipulación de variables experimentales no comprobadas. Cabe destacar que este tipo de investigación permite introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Es una de las investigaciones más apropiadas para investigar relaciones de causa-efecto, pero a la vez tiene sus desventajas ya que al realizar sus experimentos pueden actuar diferentes en sus aplicaciones. (Marcano, 2018)

#### **3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 MÉTODO INDUCTIVO**

El método inductivo es utilizado en las áreas científicas, donde se recolectan datos de hechos y fenómenos para llegar a una hipótesis o teoría. La característica de este método es que utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares, aceptados como válidos para llegar a conclusiones cuya aplicación es de carácter general. El método se inicia con la observación individual de los hechos, se analiza la conducta y características del fenómeno, se hacen comparaciones, experimentos, etc., y se llega a

conclusiones universales para postularlas como leyes, principios o fundamentos. (Seminario IEE, s.f.)

### **3.2.2 MÉTODO CIENTÍFICO**

El método científico es un proceso que explica fenómenos, establece relaciones entre los hechos y enuncia leyes que expliquen los fenómenos físicos del mundo y permitan obtener, con estos conocimientos, aplicaciones útiles al hombre. (Newton.cnice, s.f.)

EL método científico es considerado una serie de fases sistemáticas e instrumentos que nos lleva a cabo una investigación, cabe destacar que en algunas ciencias, pueden faltar algunas de ellas: Observación, Elaboración de hipótesis, Deducción de nuevos hechos, Experimentación, Publicación de resultados.

## **3.3 TÉCNICAS**

### **3.3.1 OBSERVACIÓN**

En este proyecto se empleó la técnica de la observación que parte de una premisa, una cosa es la realidad y otra la percepción. Consiste en observar de forma sistemática cualquier hecho, fenómeno que se produzca, en función de los objetivos de investigación pre-establecidos. En este proyecto se evidencian los siguientes parámetros: movimiento de los servos de 0 a 90 grados, almacenamiento de la información en una base de datos, el monitoreo de las rehabilitaciones del nervio radial en tiempo real.

### **3.3.2 FUENTES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Son aquellas formas posibles de que se vale el investigador para adquirir los datos necesarios en el proceso investigativo. En este proyecto se va a obtener la información de fuentes secundarias que son de tipo documental y confiable; sus fuentes principales son: Internet, las bibliotecas, otras investigaciones, organismos estatales y de empresas, librerías etc.

Hoy en día el internet permite obtener información en páginas web de artículos, monografías, estudios, etc. Pero es necesario considerar varios aspectos importantes antes de recolectar información de la red como son: la oficialidad de la página, tipo de información publicada, validez de la información. Toda la información recolectada va a ser referenciada según las

Normas APA para el desarrollo de la férula automática, las rehabilitaciones de la lesión del nervio radial y almacenamiento de datos en tiempo real.

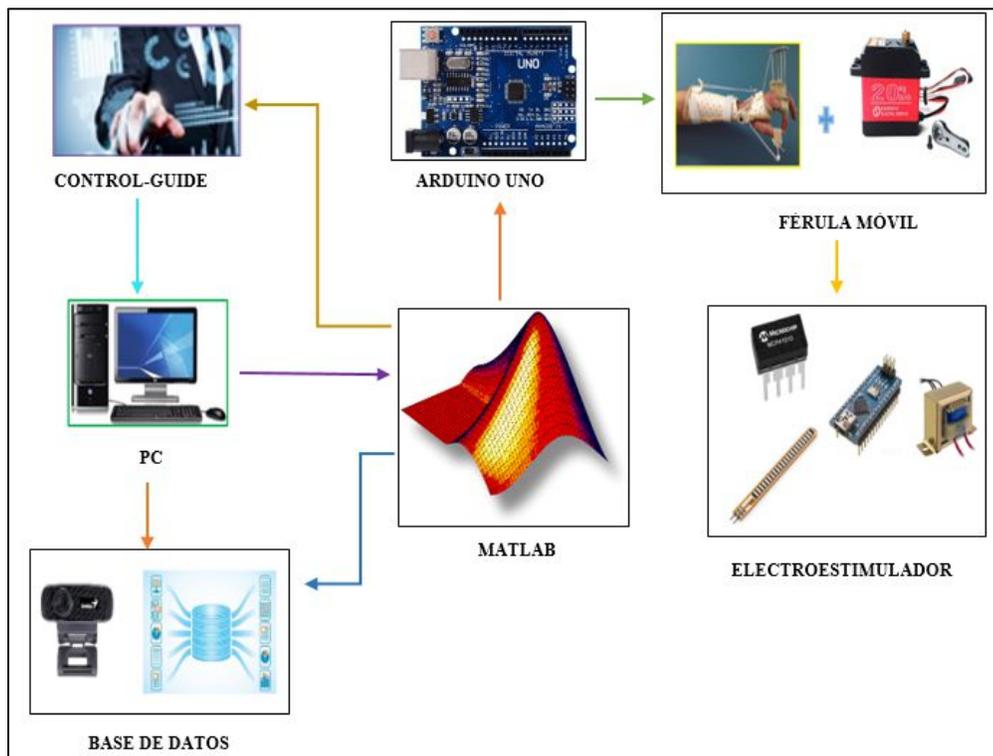
### 3.4 INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En los instrumentos de la investigación se tiene: procedimientos experimentales y análisis de documentos.

### 3.5 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS

El sistema de monitoreo, análisis y control de este proyecto está conformado por: una base de datos conjuntamente con una cámara diseñada en el software Matlab, PC que permita el almacenamiento y visualización de datos, sistema de control y automatización de la férula y el sistema de electroestimulación.

#### 3.5.1 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA



*Figura 16* Diagrama de bloques general del sistema

*Fuente:* Autores

### 3.5.2 DISEÑO DE LA FÉRULA

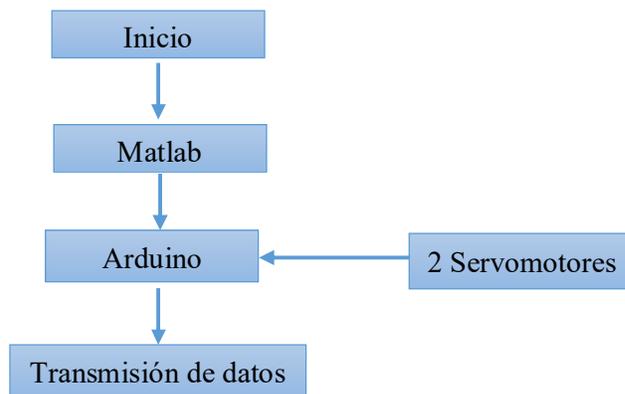
El primer paso a realizar fue la creación de la férula, la cual consta de materiales de acero quirúrgico y textil que permite una fácil comodidad del paciente al momento de la rehabilitación de la lesión de nervio radial.



*Figura 17* Diseño de la férula dinámica automática

*Fuente:* Autores

#### ➤ Diagrama de bloques del funcionamiento

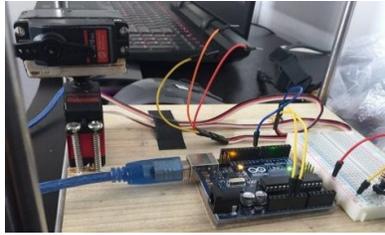


*Figura 18* Diagrama de bloques del funcionamiento de la férula

*Fuente:* Autores

#### 3.5.2.1 CONEXIÓN DE LOS SERVOMOTORES Y ARDUINO UNO

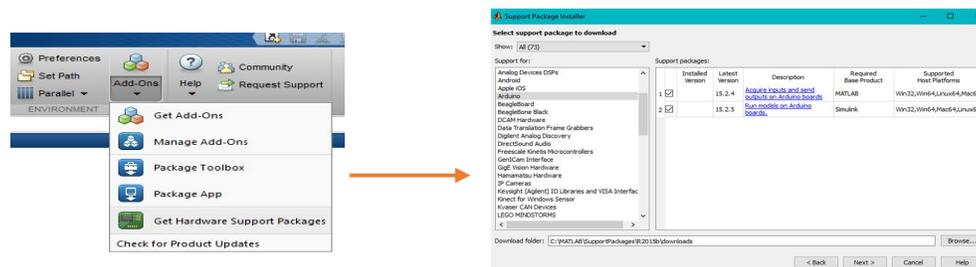
Para el funcionamiento de la movilidad de la férula dinámica automática, se utilizó dos servomotores digitales de 20 Kg acoplados uno encima de otro y conectados con la tarjeta Arduino Uno, el cual va a permitir ejercer movimientos de la muñeca y mano de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha.



**Figura 19** Conexión de los dos servomotores a la tarjeta de Arduino

**Fuente:** Autores

Para proceder a la programación de los movimientos o giros de los servomotores en Matlab, lo primero que se debe hacer es la instalación de la librería del Arduino Uno en Matlab. En el icono Add – Ons, seleccionar la opción Get Hardware Support Packages y posteriormente seleccionar la opción instalar Arduino.



**Figura 20** Instalación de la librería de Arduino Uno en Matlab

**Fuente:** Autores

Para iniciar el programa se debe importar las librerías a utilizar y otros parámetros iniciales. Las librerías que se emplean en Matlab para la ejecución de los servomotores y la instalación de los puertos COM del Arduino Uno a Matlab son las siguientes:

- Sentencia que permite el reconocimiento del puerto y librería que permite reconocer el servo conectado al pin 10 del Arduino.

```
delete(instrfind({'Port'},{'DEMO'}))
a=arduino('COM4','uno')
s=servo(a,'D10')
```

- Librería que permite reconocer el servo conectado al pin 9 del Arduino.

```
s=servo(a,'D9')
```

- Comandos que permiten mover a la férula de abajo hacia arriba.

```
writePosition(s,0.15);
pause(1)
```

```
writePosition(s,0.45);  
pause(1)
```

- Comandos que permitwn mover a la férula de izquierda a derecha.

```
writePosition(s,0.2);  
pause(1)  
writePosition(s,0.4);  
pause(1)
```

### 3.5.3 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

El sistema de rehabilitación Therapycenter se diseñó en Guide – Matlab, el primer paso es la creación de la interfaz de la ficha médica, el cual consta de los datos personales del paciente y las causas de la lesión como: Apellidos del paciente, nombre del paciente, dirección, teléfono, ciudad, provincia, fecha de nacimiento, edad, sexo, código o contraseña de registro, duración del tratamiento, diagnóstico, tratamiento, alergias a un medicamento, observaciones y causas de la lesión.



**Figura 21** Diseño de la ficha médica en Guide- Matlab

**Fuente:** Autores

- Además de los datos mencionados anteriormente, el sistema de rehabilitación Therapycenter cumple la funcionalidad o está diseñado para la toma de fotografía del paciente, con la finalidad de permitir la interacción entre el paciente y el fisioterapeuta.



**Figura 22** Toma de fotografía del paciente

**Fuente:** Autores

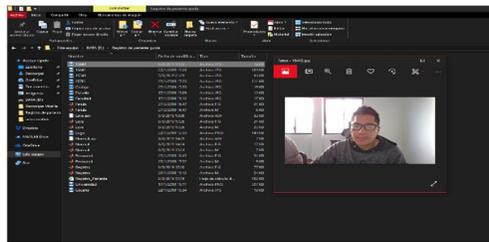
- La foto capturada en el sistema mencionado anteriormente, es almacenado en la carpeta establecida en donde se encuentra todos los archivos del sistema como la programación y datos almacenados en Excel que se muestran posteriormente.



**Figura 23** Foto almacenada en una carpeta creada por el sistema

*Fuente: Autores*

- Desde la nube, el fisioterapeuta encargado del paciente podrá ver la foto del paciente, que a su vez, permitirá la familiarización.



**Figura 24** Acceso de la fotografía del paciente

*Fuente: Autores*

- Todos los datos registrados de la ficha médica del paciente en Guide- Matlab, se almacenarán automáticamente en la siguiente base de datos de Excel que se muestra en la figura 25, independientemente del código de registro que le acceda el fisioterapeuta., además de ello, permite la visualización automática de la hora y fecha exacta del acceso al sistema de rehabilitación por el paciente.

			
FICHA MEDICA DEL PACIENTE			
Apellidos del Paciente:		Nombre del Paciente:	
Dirección:		Teléfono :	
Ciudad:		Provincia:	
Fecha de Nacimiento:		Edad:	
Sexo:		Código:	
Fecha de Registro:		Hora:	
Diagnóstico:		Duración del tratamiento :	
Tratamiento:			
Alergias a un medicamento:			
Observaciones:			
Causas de la lesión:			

**Figura 25** Ficha médica en Excel

*Fuente: Autores*

- Una vez llenada la ficha médica y la toma de la fotográfica en Guide, el sistema además cuenta con la siguiente interfaz que se muestra en la figura 26, que consta del ingreso a la plataforma, únicamente con usuario y contraseña que le asigna el fisioterapeuta al paciente, el cual permite una mayor seguridad y confortabilidad para las rehabilitaciones previas.



**Figura 26** Ingreso a la plataforma con usuario y contraseña

**Fuente:** Autores

- Otros de los comandos de programación del sistema es el siguiente que permite proporcionar un mensaje de ingreso al sistema: correcto e incorrecto, que a su vez permite la seguridad de datos e información del progreso del paciente.



**Figura 27** Mensaje de acceso al sistema

**Fuente:** Autores

- Otros de los parámetros de la programación y dentro de la misma interfaz diseñada en Guide Matlab, se tiene otra ventana que permite seleccionar el tipo de lesión que padece en este caso leve, normal y severa. Al momento de elegir el tipo de lesión, el sistema brinda, está diseñado o programado para que el paciente obtenga una breve descripción de la lesión, de sus causas y tratamiento que se va a ejercer.



**Figura 28** Tipo de lesión que padece el paciente

*Fuente: Autores*

- Dentro de las opciones Leve, Normal y Severa se programó una interfaz que permite el control de los dos servomotores en tiempo real, además de ello, particularmente en la opción Leve, se diseñó un ícono de listado, el cual consta de los ocho días de tratamiento, la opción Normal está programado para un mes de tratamiento y finalmente la opción Severa está programado para 6 meses de tratamiento.



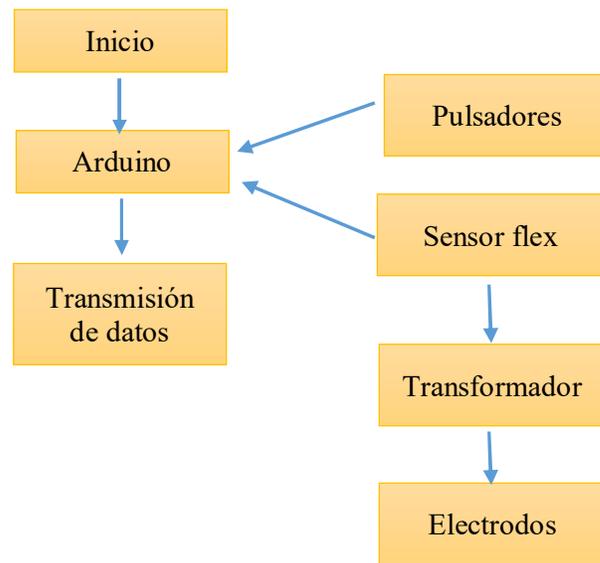
**Figura 29** Interfaz que permite la selección del día del tratamiento-lesión leve

*Fuente: Autores*

### 3.5.4 DISEÑO DEL ELECTROESTIMULADOR

El electroestimulador se desarrolló con la finalidad de complementar la recuperación de la lesión del nervio radial o mano caída, por lo tanto, los dispositivos utilizados para su diseño son: la tarjeta de Arduino, el sensor flex que permite la activación del electroestimulador de manera automática, potenciómetro digital MPC41010, transformador de 120 a 9V, transistor tip31, 3 led, 5 pulsadores, conector para los dos electrodos y batería.

➤ **Diagrama de bloques del funcionamiento**



**Figura 30** Diagrama de Bloques del funcionamiento del electroestimulador

*Fuente: Autores*

Con la electroterapia aplicada vía transcutánea pretende sustituir los impulsos eléctricos propios del sistema nervioso, se diseñó un electroestimulador que sea capaz de superar las barreras de la piel, tejido celular subcutáneo y distancia hasta el nervio o fibra muscular pretendido, también va a permitir generar respuestas que el propio sistema nervioso es incapaz de provocar (como el tratamiento de parálisis).

➤ Para el diseño del electroestimulador se tiene en cuenta varios parámetros importantes: Los siguientes parámetros son configurados dependiendo del modo de trabajo:

- **Frecuencia:** el espacio de tiempo entre pulsos que se generan y es la clave para indicarle a nuestro cuerpo que tipo de fibra a activar.
- **Intensidad.** Es la amplitud del impulso que recibirán los músculos. En ocasiones pueden ser variados hasta encontrar el valor que más alivie/estimule.
- **Duración.** La duración total del programa de estimulación de selección.

DATOS	VALORES
Pulso alto	5 ms
Pulso bajo	50 ms

**Tabla 2** Datos utilizables en el tren de pulsos para obtener una frecuencia de 18Hz

*Fuente: Autores*

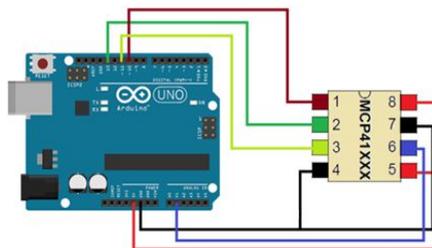
DATOS	VALORES
Pulso alto	1 ms
Pulso bajo	11 ms

*Tabla 3 Datos utilizables en el tren de pulsos para obtener una frecuencia de 83Hz*  
*Fuente: Autores*

- **Para la implementación del electroestimulador lo primero que se hizo es la conexión del Arduino y el potenciómetro digital MPC41010.**

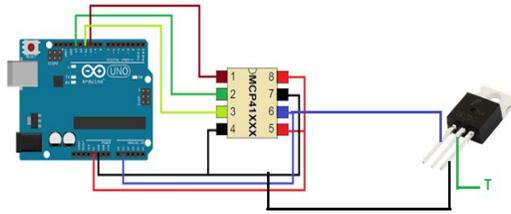
Para programar el potenciómetro digital, primero debe enviar un "byte de comando" (para decirle al chip qué hacer) y un "byte de datos" (para decirle al chip qué valor de resistencia debe establecer de 0 a 255). En el diseño de este electroestimulador se tomó como datos valores de 180 a 255 del potenciómetro.

MCP41010 está conectado a Arduino a través de la interfaz SPI de Arduino. Los terminales del potenciómetro (pin 5) y (pin 7) están conectados al suministro de 5 voltios de Arduino (5 V) y tierra (Gnd). El terminal de limpiaparabrisas (pin 6) está conectado al Pin analógico 1 (A1) del Arduino. Lo que está cargado en el Arduino selecciona el MCP41010 y realiza un ciclo a través de las 256 posiciones de limpiaparabrisas (aproximadamente 39  $\Omega$  por paso). Las posiciones de limpiaparabrisas se visualiza en el monitor en serie de Arduino.



*Figura 31 Conexión del Arduino y MCP41010 a través de la interfaz SPI*  
*Fuente: Autores*

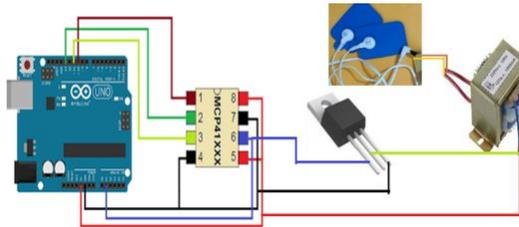
- La conexión del Arduino y el transistor NPN tip31 de media potencia permitir cumplir como el funcionamiento de switch es decir activar o desactivar para que el transformador pueda funcionar de la manera adecuada.



**Figura 32** Conexión del Arduino, MCP41010 y Tip31

*Fuente:* Autores

- Para obtener la intensidad adecuada para la rehabilitación del paciente, se utiliza un transformador de 120V a 9V, sus salidas como se muestra en la siguiente figura son conectados a un conector y de este como resultado a la salida de dos electrodos.



**Figura 33** Salida del transformador al conector de los dos electrodos

*Fuente:* Autores

- Cálculos para obtener la intensidad del electroestimulador.

Transformador 120/9V

Relación 1 a 13.33V

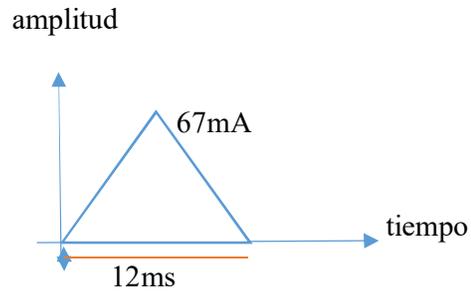
Alimentación 3V → salida de 40 V

Resistencia 600 Ω

$$I = \frac{V}{R} = \frac{40}{600}$$

Corriente máxima a un tren de pulsos de 12ms.

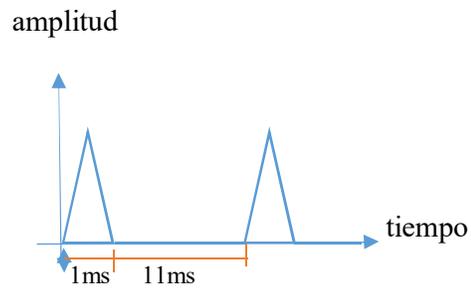
$$I = 0.067A = 66.67mA \approx 67mA$$



- Para generar la onda a una frecuencia de 83Hz, los pulsos de tiempo van a ser muy pequeños con el pulso en alto de 1ms y el pulso en bajo de 11ms, tendremos una onda triangular con una intensidad de 7mA aplicando la relacion de 67mA/10

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(1 + 11)ms}$$

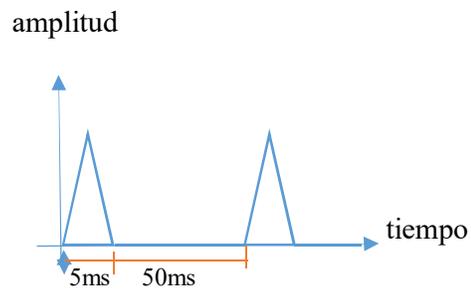
$$f = 83Hz$$



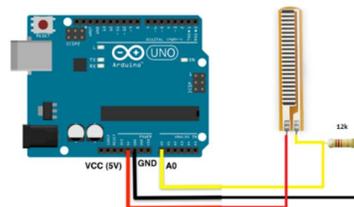
- Para generar la onda a una frecuencia de 18Hz, los pulsos de tiempo van a ser muy pequeños con el pulso en alto de 5ms y el pulso en bajo de 50ms generando una onda triangular con una intensidad de 7mA.

$$f = \frac{1}{(5 + 50)ms}$$

$$f = 18Hz$$



- Además de que el electroestimulador es portátil, está diseñado y programado con Arduino, que cumple tres funcionalidades:
  1. Se muestra como nivel 1, está diseñado a frecuencias de 18 y 83Hz, la frecuencia de 18Hz le va a permitir al paciente mantener una relajación de circulación del antebrazo y mano, una frecuencia mayor de 83Hz va a ser activada por el sensor flex, el cual pretende que al momento de que la mano intente caerse, este le va ayudar a levantarse.
  2. Se muestra como nivel 2, que permite dar electroestimulación al mismo instante de utilizar la férula, con una frecuencia de 18 Hz y con una amplitud de 1.05V.
  3. Se muestra como nivel 3, que permite dar electroestimulación al mismo instante de utilizar la férula, con una frecuencia de 18 Hz y con una amplitud de 1.12V.
  
- El sensor flex tiene un rango de aproximadamente de 10K a ~ 35K, lo que significa que no nos dará un rango completo de 0-5 voltios (o un valor analógico de 0-1023). Para ello es de gran ayuda el Monitor serie de Arduino para averiguar qué valor analógico tomará mientras dobla el sensor. En nuestro caso nos mostró valores entre 700 y 900.



*Figura 34 Conexión del sensor flex con Arduino*

*Fuente: Autores*

**Las siguientes sentencias de programación van a permitir:**

- Leer valor analógico del sensor de flex  
value=analogRead(flexPin);
- Enviar valor pwm al led  
analogWrite(ledPin, value)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES

El presente capítulo muestra las diferentes pruebas que fueron realizadas en la base de datos, sistema de electroestimulación, sistema de servos, los cuales en conjunto forman la manera de recuperación la muñeca y del nervio radial.

##### 4.1.1 RESULTADOS DE LA REHABILITACIÓN DEL NERVIOS RADIAL CON LA AYUDA DE LA FÉRULA

Como resultados con relación al sistema que permite el registro desde cualquier lugar de la ficha médica del paciente que padece la lesión del nervio radial, se muestran en las figuras 39 y 40, el registro es llevado con éxito y almacenado automáticamente en la base de datos de Excel, el cual es accedido y monitoreado por el fisioterapeuta encargado.

Apellidos del Paciente:	Sanchez Haro	Nombre del Paciente:	Alexander Patricio
Dirección:	Pichincha y Junin	Teléfono :	2965-804
Ciudad:	Riobamba	Provincia:	Chimborazo
Fecha de Nacimiento:	16 de febrero 1993	Edad:	25
Sexo:	Masculino	Código:	15440

Duración del tratamiento :	Lesion del nervio radial leve
Diagnóstico:	Lesion del nervio radial leve
Tratamiento:	Rehabilitacion de ejercicios 5 veces al dia por 8 dias
Alergias a un medicamento:	Ninguna
Observaciones:	Ninguna
Causas de la lesión:	Presion a la parte superior del brazo durante el sueño

**Figura 35** Diseño de la ficha médica realizada en el Guide Matlab

**Fuente:** Autores

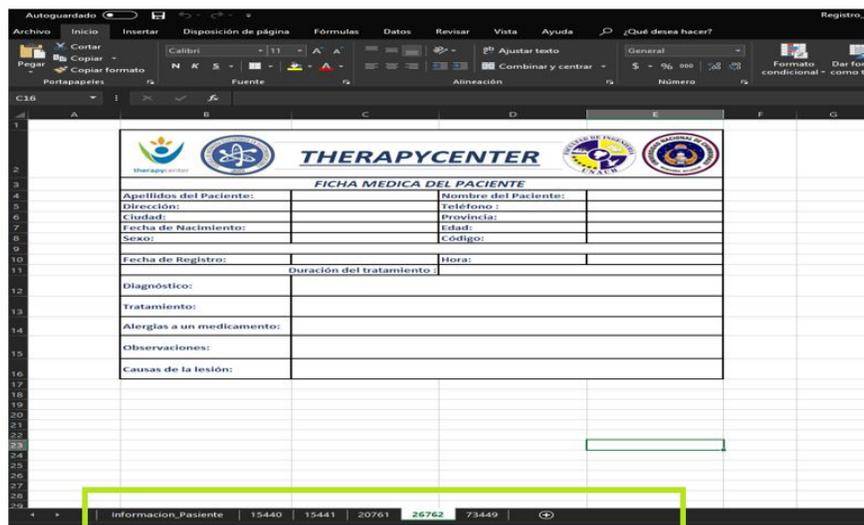
Además de los datos registrados en el sistema que se visualiza en la figura 39, la base de datos en Excel que se muestra en la figura 40, además de permitir la familiarización entre el paciente y fisioterapita, permite el monitoreo continuo indicando la fecha y hora de ingreso del paciente al sistema.

			
FICHA MEDICA DEL PACIENTE			
Apellidos del Paciente:	Sanchez Haro	Nombre del Paciente:	Alexander Patricio
Dirección:	Pichincha y Junin	Teléfono :	2965-804
Ciudad:	Riobamba	Provincia:	Chimborazo
Fecha de Nacimiento:	16 de febrero 1993	Edad:	25
Sexo:	Masculino	Código:	15440
Fecha de Registro:	8-mar-19	Hora:	17:16
	Duración del tratamiento :	Lesion del nervio radial leve	
Diagnóstico:	Lesion del nervio radial leve		
Tratamiento:	Rehabilitacion de ejercicios 5 veces al día por 8 dias		
Alergias a un medicamento:	Ninguna		
Observaciones:	Ninguna		
Causas de la lesión:	Presion a la parte superior del brazo durante el sueño		

*Figura 36 Base de datos de la ficha médica exportada automáticamente de Matlab a Excel*

*Fuente: Autores*

La siguiente figura muestra los resultados de la generación de códigos o contraseñas generada en la base de datos Excel, los cuales permitirán únicamente el acceso a los pacientes que los contengan y registrados en el sistema de Therapycenter, ya que el sistema lo que pretende es permitir el acceso a pacientes que estén únicamente vinculados entre el paciente y el fisioterapeuta.



			
FICHA MEDICA DEL PACIENTE			
Apellidos del Paciente:		Nombre del Paciente:	
Dirección:		Teléfono :	
Ciudad:		Provincia:	
Fecha de Nacimiento:		Edad:	
Sexo:		Código:	
Fecha de Registro:		Hora:	
	Duración del tratamiento :		
Diagnóstico:			
Tratamiento:			
Alergias a un medicamento:			
Observaciones:			
Causas de la lesión:			

Información\_Paciente | 15440 | 15441 | 20761 | 26762 | 73449

*Figura 37 Diferentes contraseñas de asignación por parte del fisioterapeuta al paciente.*

*Fuente: Autores*

A continuación se muestran los resultados de la recuperación de la lesión leve del nervio radial que se obtuvo del paciente, es decir, los ángulos de elevación de la muñeca y el progreso que día a día se fueron obteniendo, generados en el sistema de Guide- Matlab.

FECHA	HORA	TIEMPO	ANGULO HACIA ARRIBA/ABAJO	ANGULO DE IZQUIERDA / DERECHA	PROGRESO
<b>DÍA 1</b>					
<b>05-02-19</b>	8:00 am	2 min	72.4°- 0.98 °	73.5° - 84.5°	11.36 %
	11:00 am	2 min	78.8°- 0.10 °	79.2° - 86.7°	10.77 %
	14:00 pm	2 min	83.7°- 0.23 °	85.1° - 87.1°	12.66 %
	17:00 pm	2 min	87.4°- 0.55 °	87.7° - 88.3°	10.40 %
	20: 00 pm	2 min	89.2°- 0.12 °	88.5° - 89.9°	11.76 %
<b>Promedio</b>			<b>82.3° - 0.39°</b>	<b>82,8° - 87.3°</b>	<b>11.39%</b>
<p>El día uno la persona al comenzar la rehabilitación va a tener un tiempo de terapia de 2 minutos por 5 veces al día el dispositivo va a dar resultados de porcentaje de cuanto progreso la persona y cuanto tiene de movimiento autónomo, como el primer día recién empieza la rehabilitación el dispositivo con la ayuda de Matlab arrojaron un promedio de resultados de 11,39% de un 100%.</p>					
<b>DÍA 2</b>					
<b>06-02-19</b>	8:00 am	1.5 min	77.22°- 0.51 °	81.5° - 83.3°	24.73 %
	11:00 am	1.5 min	79.9°- 0.58 °	85.3° - 87.2°	22.40 %
	14:00 pm	1.5 min	81.9°- 0.69°	86.5° - 88.5°	21.24 %
	17:00 pm	1.5 min	85.7°- 0.54 °	87.2° - 87.62°	24.80 %
	20: 00 pm	1.5 min	88.1°- 0.77 °	88.23° - 81.5°	25.01 %
<b>Promedio</b>			<b>82.564° - 0.618°</b>	<b>85.746° – 85.624°</b>	<b>23.636%</b>
<p>El día dos el tiempo del ejercicio de rehabilitación va a tener un tiempo de un 1 minuto con 30 segundos por 5 veces al día el progreso del paciente va a ver más que el día anterior esta vez de un 100% la persona tiene un progreso en promedio de 23.636% gracias al dispositivo la rehabilitación es progresiva y el paciente tiende a rehabilitarse más pronto.</p>					
<b>DÍA 3</b>					
<b>07-02-19</b>	8:00 am	1 min	77°- 0.88 °	80.45° - 79.29°	34.04%
	11:00 am	1 min	79.4°- 0.59 °	85.04° - 80.20°	36.01 %
	14:00 pm	1 min	87.5°- 0.37 °	89.01° - 80.09°	36.55 %
	17:00 pm	1 min	89.1°- 0.24 °	83.09° - 78.25°	34.79 %
	20: 00 pm	1 min	90°- 0.92°	87.45° - 89.25°	35.09 %
<b>Promedio</b>			<b>84.6° - 0.6°</b>	<b>85.005° - 81.416°</b>	<b>35.296%</b>

El día tres la persona ya se adapta más a la rehabilitación mediante el dispositivo al tercer día los resultados son más prometedores ya que la persona tiene un movimiento autónomo y de un 100% la persona tiene un progreso de 35.296% gracias a esto la persona tiene una rehabilitación más rápida ya que al tercer día ya puede tener movilidad por sí misma.

#### DÍA 4

<b>08-02-19</b>	8:00 am	1 min	78.2° - 0.68 °	76.8° - 86.5°	40.45%
	11:00 am	1 min	79.7° - 0.50 °	76° - 87.7°	45.20 %
	14:00 pm	1 min	83.4° - 0.33 °	86.1° - 86.1°	59.25 %
	17:00 pm	1 min	83.4° - 0.45 °	89.7° - 89.3°	50.85 %
	20: 00 pm	1 min	89.1° - 0.82 °	84.5° - 83.9°	48.09 %
<b>Promedio</b>			<b>82.76° - 0.556°</b>	<b>82.62° - 86.7°</b>	<b>48.768%</b>

El día 4 gracias al dispositivo la persona tiene una casi un 50% de progreso en la rehabilitación la persona ya puede mover los dedos y alzar la muñeca aproximadamente 45° el dispositivo cada día que pasa arroja resultados alentadores para la recuperación total de la lesión del nervio radial.

#### DÍA 5

<b>09-02-19</b>	8:00 am	1 min	75.5° - 0.58 °	83.5° - 85.2°	59.40 %
	11:00 am	1 min	78.6° - 0.30 °	89.2° - 86.3°	61.05 %
	14:00 pm	1 min	89.3° - 0.83 °	83.1° - 87.32°	60.21 %
	17:00 pm	1 min	82.1° - 0.95 °	87.7° - 82.1°	59.06 %
	20: 00 pm	1 min	79.2° - 0.52 °	86.5° - 87.2°	62.07 %
<b>Promedio</b>			<b>80.94° - 0.636°</b>	<b>86° - 85.624°</b>	<b>60.358%</b>

El día 5 la persona presenta más un 50% de rehabilitación el dispositivo arroja datos alentadores ya que puede mover sus dedos libremente y la muñeca puede alzar aproximadamente 60° gracias a los ejercicios diarios la persona casi en su totalidad no va a presentar efectos secundarios y va a tener una rehabilitación casi completa.

#### DÍA 6

<b>10-02-19</b>	8:00 am	45 seg	72.4° - 0.98 °	78.5° - 85.5°	79.36 %
	11:00 am	45 seg	78.8° - 0.10 °	76.2° - 86.7°	75.77 %
	14:00 pm	45 seg	83.7° - 0.23 °	86.1° - 87.1°	80.66 %
	17:00 pm	45 seg	87.4° - 0.55 °	82.7° - 88.3°	89.40 %
	20: 00 pm	45 seg	89.2° - 0.12 °	89.5° - 83.9°	79.76 %
<b>Promedio</b>			<b>82.3° - 0.396°</b>	<b>82.6° - 86.3°</b>	<b>80.99%</b>

El día 6 la persona presenta ya casi una mejoría total la persona ya puede mover sus dedos y puede alzar la muñeca aproximadamente 80° los ejercicios diarios logran realizar una rehabilitación a plenitud la persona se siente bien conforme avanza el tratamiento y lograr así una recuperación total en este caso tiene un progreso de rehabilitación de un 100% tiene un promedio de 80.99%.

#### DÍA 7

<b>11-02-19</b>	8:00 am	30 seg	78.6°- 0.58 °	79.7° - 88.6°	85.16 %
	11:00 am	30 seg	76.9°- 0.90 °	76.7° - 89.9°	89.67 %
	14:00 pm	30 seg	83.4°- 0.63 °	86.3° - 83.47°	84.76 %
	17:00 pm	30 seg	84.5°- 0.65 °	89.9° - 85.8°	83.20 %
	20: 00 pm	30 seg	89.9°- 0.82 °	83.7° - 87.3°	87.86 %
<b>Promedio</b>			<b>82.66° - 0.716°</b>	<b>83.26° - 87.014°</b>	<b>86.13%</b>

El día 7 la persona tiene un progreso de 86.13% ya casi totalmente curado de la lesión gracias al dispositivo la persona puede mover los dedos y alzar la muñeca aproximadamente 82° ya que los grados que alza una persona sana es de 88° - 90° la persona al séptimo día ya presenta una mejoría considerable y sobre todo arroja como resultados alentadores hacia la recuperación total de la lesión del nervio radial.

#### DÍA 8

<b>12-02-19</b>	8:00 am	15 seg	76°- 0.95 °	76.7° - 89.5°	95.52 %
	11:00 am	15 seg	76.2°- 0.65 °	73.6° - 85.7°	94.36 %
	14:00 pm	15 seg	83.4°- 0.48 °	83.9° - 87.1°	96.21 %
	17:00 pm	15 seg	88.1°- 0.87 °	84.6° - 89.3°	98.21 %
	20: 00 pm	15 seg	90°- 0.93 °	87.7° - 83.9°	99.12 %
<b>Promedio</b>			<b>82.74° - 0.776°</b>	<b>81.3° - 87.1°</b>	<b>96.684%</b>

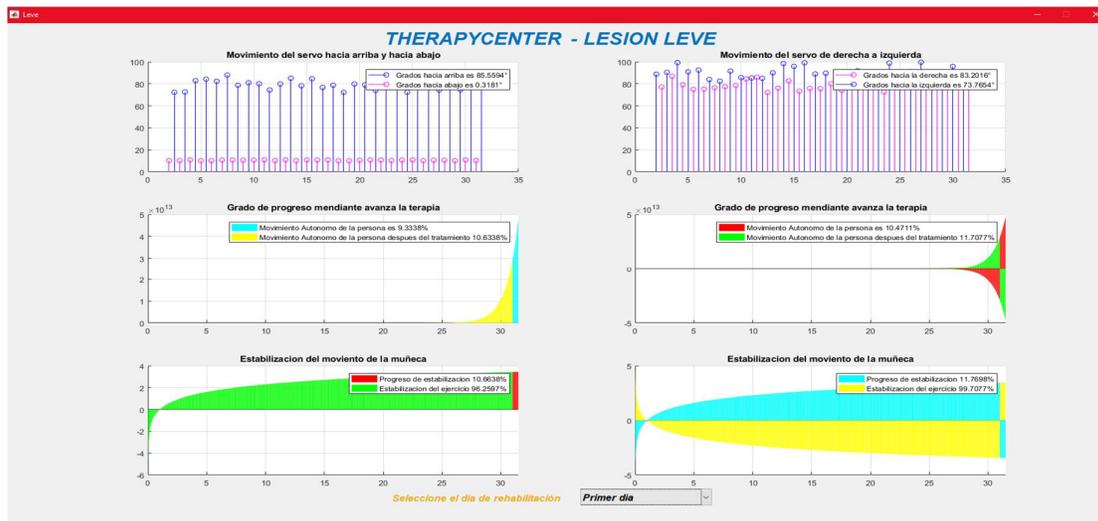
Al día 8 la persona presenta una mejorar casi en su totalidad de un 100% tiene una mejoría de un 96.684% una cifra que prácticamente ya es una mejoría total que la persona ya puede mover la mano y los dedos totalmente.

*Tabla 4 Resultados del tratamiento de la lesión leve del nervio radial*

*Fuente: Autores*

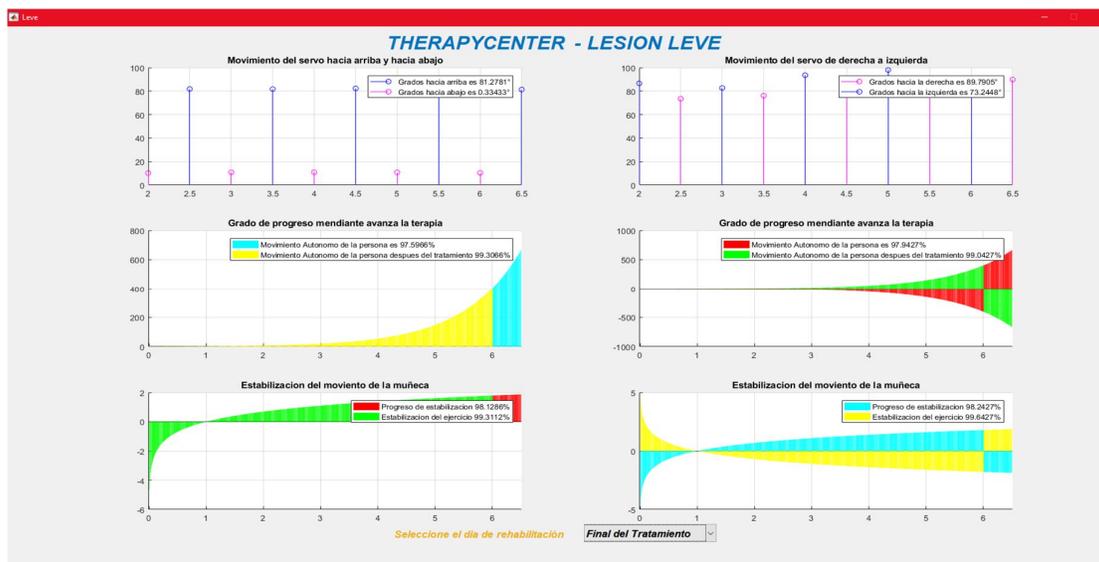
Las siguientes figuras 42 y 43 representan, la movilidad de la férula que permite generar movimientos de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha de la muñeca y de la mano en tiempo real, además de ello, se muestra el progreso diario mediante gráficas estadísticas que representa la mejora diaria del paciente como los grados de progreso de la movilidad y la

estabilización del movimiento de la muñeca que alcanzó día tras día durante los ocho días de rehabilitación.



**Figura 38** Resultados en tiempo real de los movimientos y recuperación tras el primer día de rehabilitación de la lesión leve.

*Fuente: Autores*



**Figura 39** Resultados en tiempo real de los movimientos y recuperación final de rehabilitación de la lesión leve.

*Fuente: Autores*

Una vez de haber finalizado las rehabilitaciones en el sistema de Guide-Matlab, las siguientes figuras representan el progreso que se obtuvo durante las rehabilitación realizadas en la interfaz Guide en tiempo real , se almacenan automáticamente en la base de datos de Excel, el cual el

fisioterapeuta pudo visualizar el progreso diario de recuperación del paciente durante los ocho días continuos, se puede verificar y comparar los resultados de las estadísticas del día 1 y del día del final del tratamiento.



**Figura 40** Estadística del día 1 y 2 del mejoramiento del paciente en la base de datos

**Fuente:** Autores



**Figura 41** Estadística del día 7 y 8 del mejoramiento del paciente en la base de datos

**Fuente:** Autores



**Figura 42** Resultado final de la rehabilitación de la lesión leve del nervio radial en la base de datos

*Fuente: Autores*

#### 4.1.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ELECTROESTIMULADOR

Para determinar la amplitud adecuada que deberá tener el electroestimulador para el tratamiento se empleó una función rampa obteniendo desde una leve contracción muscular hasta una fuerte contracción muscular que provoca el movimiento involuntario de la mano.

El botón nivel 1 del electroestimulador está programado con una frecuencia baja de 18 Hz que tendrá el efecto relajante con una contracción muscular leve y a una frecuencia de 83 Hz se tendrá una contracción muscular un poco más fuerte para que la mano no se caiga, todas estas funciones lo activa el sensor flex, produciendo así a que el nervio radial se recupere.

Electroestimulador	Frecuencia	Pulso en alto	Pulso en bajo	Intensidad	Valores del potenciómetro	Amplitud
Botón- Nivel 1	18 Hz	5ms	50 ms	7mA	150	1.05 V
	83 Hz	1ms	11ms	7mA	225	1.5V

**Tabla 5** Frecuencias recomendadas por el fisioterapeuta al momento de utilizar el guante.

*Fuente: Autores*

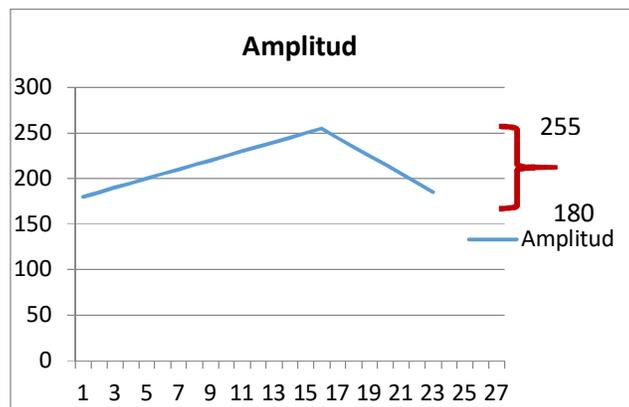
El botón nivel 2 y nivel 3 del electroestimulador está programado con una frecuencia de 18 Hz que tendrá el efecto relajante con una contracción muscular leve, que será utilizado al mismo instante de utilizar la férula autónoma con movimientos de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha.

Electroestimulador	Frecuencia	Pulso en alto	Pulso en bajo	Intensidad	Valores del potenciómetro	Amplitud
Botón- Nivel 2	18 Hz	5ms	50 ms	7mA	150	1.05V
Botón- Nivel 3	18 Hz	5ms	50ms	7mA	160	1.12V

**Tabla 6** Frecuencias recomendadas por el fisioterapeuta al momento de utilizar la férula automática.

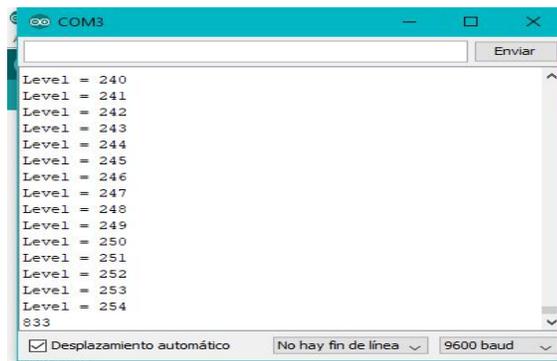
**Fuente:** Autores

El rango que maneja el potenciómetro digital MPC41010 es de 155 a 225 ohmios, que significa la amplitud de los pulsos, el cual se obtiene la electroestimulación deseada y accesible para la recuperación satisfactoria del nervio radial.



**Figura 43** Estadística que representa el rango que debe manejar la resistencia digital de 180 a 255

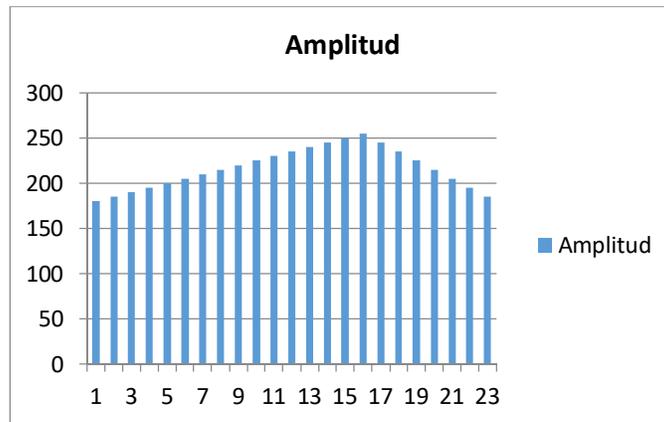
**Fuente:** Autores



**Figura 44** Resultados en el monitor serie de Arduino que representa la amplitud máxima que maneja el potenciómetro digital.

**Fuente:** Autores

Como resultado se consideró que las terapias de electro estimulación sean activadas mediante un sensor flex colocado en la muñeca del paciente. Y el modo de trabajo del electroestimulador será mediante trenes de impulsos con tiempos de impulso, tiempos de reposo y amplitud ajustables con tiempos que oscilan entre los 15 y 30 minutos para adaptarse a los parámetros requeridos por la fisiología neuromuscular de cada paciente.



**Figura 45** *Tiempos de reposo y amplitud ajustable*

**Fuente:** Autores



**Figura 46** *Aprobación del electroestimulador dirigido por el docente de fisioterapia de la UNACH*

**Fuente:** Autores

## 4.2 DISCUSIÓN

La mayoría de los mecanismos que permiten activar el nervio radial a la cual está ligada la movilidad tanto de la muñeca como de la mano, es a través de rehabilitaciones diarias con la ayuda de un fisioterapeuta durante 6 meses a un año, colocación de férulas ortopédicas y en pocos casos es a través de cirugías, efectivamente el paciente tiende a recuperarse, pero no en un tiempo reducido ni tampoco a un menor costo.

Hoy en día el avance y demanda de la tecnología es elevada, lo cual hace que se deba dar mejora a los sistemas de electromedicina, pero a bajos costos y fáciles de utilizar.

En la actualidad no existen férulas perfectas debido a que deben ajustarse a las necesidades, costumbres y trabajo del paciente, a pesar de aquello son ideales en los primeros tres meses del comienzo de los síntomas, pero no lo suficiente satisfactorio; es por ello que se implementó una férula autónoma con la finalidad de acortar el tiempo de recuperación, rehabilitaciones bastante limitado exclusivamente en el hogar del paciente, muy sencillo de utilizar y de allí parte el que muchos pacientes lo tomen como su modo de recuperación favorable.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Se implementó un sistema de monitoreo, análisis y control de una férula dinámica automática y un electroestimulador de bajo costo, con un diseño sencillo e interfaz amigable, que pueden ser utilizados a cualquier hora y desde el hogar o desde cualquier lugar donde se encuentre el paciente.
- El sistema de rehabilitación Therapycenter diseñado en Guide-Matlab ha permitido que las personas sigan sus rehabilitaciones a diario y monitoreadas por el fisioterapeuta de confianza desde la base de datos de Excel.
- La base de datos implementado en el sistema brindó un análisis del progreso mediante estadísticas de recuperación del paciente, permitiendo así el continuo monitoreo por parte del fisioterapeuta para evitar cualquier tipo de anomalías durante la rehabilitación.
- Para la complementación de recuperación de la lesión del nervio radial se diseñó un electroestimulador portátil de 18 y 83 Hz con una forma de onda triangular y con una intensidad de 7mA, el cual es activado por el sensor flex, obteniendo así resultados favorables y satisfactorios.

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

- Dado que la investigación realizada dio como resultado que es factible, se recomienda llevar a cabo el proyecto propuesto, tomando en cuenta algunos puntos de mejora con el propósito de optimizar los beneficios.
- La aprobación y el visto bueno del Departamento de Fisioterapia de la UNACH, para la implementación del servicio de rehabilitación mediante una férula, beneficiando de esa manera a quienes conforman la misma, específicamente a estudiantes y personal que sufran de algún tipo de lesión en el nervio radial.
- Realizar exposiciones, ferias y concursos, para que de esa manera dar a conocer las investigaciones que se realizan en la Universidad Nacional de Chimborazo.
- El auspicio de la Universidad Nacional de Chimborazo para poder patentar y comercializar el producto a todos quienes lo requieran.

- A través de este proyecto de investigación, al momento de ponerlo en uso, se recomienda tener las medidas de seguridad que se requieren para el manejo y uso de los dispositivos, y de esta manera conseguir un mejor funcionamiento requerido por quienes lo necesitan.
- Dentro de un proyecto tan innovador y beneficioso, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; recomendamos a futuros compañeros que tengan interés en la investigación del proyecto antes mencionado, para la complementación de un electroestimulador al dispositivo la cual permitirá minimizar factor costo y tiempo al momento de la rehabilitación.
- En caso de que se desea llevar a cabo el presente proyecto se recomienda.
  - Que la facultad de ingeniería se comprometa con el proyecto para darle el apoyo necesario y se ponga en marcha.
  - Por medio de charlas y pláticas informar a los estudiantes los beneficios que tiene esta investigación, para que de esta forma lo apoyen y lo recomienden.
  - Capacitar aquellas personas que manipularan el dispositivo para su uso correcto.
- El tipo de onda, duración, amplitud y frecuencia es de gran importancia al momento del diseño del electroestimulador ya que es esencial a la hora de obtener resultados satisfactorios.

## BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de <https://gimnasioencasa.net/electroestimulador/123RF>. (s.f.). Obtenido de 123RF:  
[https://es.123rf.com/photo\\_32506347\\_tecnolog%C3%ADa-de-computaci%C3%B3n-en-nube.html?fromid=cUdjSitQdTFwUWZVUGVVK0kwVmRpUT09](https://es.123rf.com/photo_32506347_tecnolog%C3%ADa-de-computaci%C3%B3n-en-nube.html?fromid=cUdjSitQdTFwUWZVUGVVK0kwVmRpUT09)
- Amazon*. (s.f.). Obtenido de Amazon : <https://www.amazon.com/ANNIMOS-Digital-Waterproof-DS3218MG-Control/dp/B076CNKQX4>
- Angiie Reyes, W. a. (23 de Enero de 2015). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare:  
<https://es.slideshare.net/AngiieReyes/nervio-radial-16120843>
- Arduino. (s.f.). Obtenido de <https://static.rapidonline.com/pdf/73-4443.pdf>
- Biardo, R. (2013). *Electrodos para uso en estudio de electrofisiología y ablación*. Uruguay.
- Caballero Herráez, P. (27 de junio de 2013). *Revista Clínica de Medicina de Familia*. Obtenido de Revista Clínica de Medicina de Familia:  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1699-695X2013000200005](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2013000200005)
- eFisioterapia.net*. (17 de Agosto de 2015). Obtenido de eFisioterapia.net:  
<https://www.efisioterapia.net/articulos/electroestimulacion-y-fisioterapia>
- Electrónicos caldas*. (s.f.). Obtenido de Electrónicos caldas:  
<https://www.electronicoscaldas.com/transistores-bjt/158-transistor-tip31c.html>
- Electrónicos Caldas*. (s.f.). Obtenido de Electrónicos Caldas:  
<https://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/482-modulo-bluetooth-hc-06.html>
- Electronilab*. (s.f.). Obtenido de Electronilab: <https://electronilab.co/tienda/arduino-nano-v3-atmega328-5v-cable-usb/>
- Evans, M. (3 de Febrero de 2015). *Mathworks*. Obtenido de Mathworks:  
<https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- Florez, M. P. (23 de abril de 2017). Obtenido de <http://evaluacionfisio.blogspot.com/2017/04/categoria-integridad-nervio-periferico.html>
- FM, Y. (3 de Agosto de 2018). *Xataka*. Obtenido de Xataka:  
<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Gencasa*. (s.f.). Obtenido de Gencasa: <https://gimnasioencasa.net/electroestimulador/>
- Guerrero Martínez, J. (2012). *Procesado Analógico*. Valencia.
- Hidalgo Díaz, M., & Martínez Núñez, A. (2013). *Control y Robótica en Tecnología*.
- Hidalgo, P. (s.f.). *123RF*. Obtenido de 123RF: [https://es.123rf.com/photo\\_83537964\\_primer-plano-de-un-hombre-que-sostiene-una-m%C3%A1quina-de-electrodo-en-la-mano-y-con-electrodos-de-electro.html](https://es.123rf.com/photo_83537964_primer-plano-de-un-hombre-que-sostiene-una-m%C3%A1quina-de-electrodo-en-la-mano-y-con-electrodos-de-electro.html)
- Juarez Cesca, F. (2014). *AACM*. Obtenido de AACM:  
[http://www.aacmyrms.org/pacientes\\_lesion\\_nervios.php](http://www.aacmyrms.org/pacientes_lesion_nervios.php)
- Llamas, L. (s.f.). *Ingeniería, Informática y diseño*. Obtenido de Ingeniería, Informática y diseño: <https://www.luisllamas.es/controlar-un-servo-de-rotacion-continua-con-arduino/>
- López, P. (2014). *Lesiones nerviosas periféricas*.
- Madrid, P. (17 de Julio de 2015). *Premium Madrid*. Obtenido de Premium Madrid:  
<https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/premium-madrid/nervio-radial-cuales-y-que-lesiones-asociadas-podemos-sufrir/>
- Marcano, M. (24 de 01 de 2018). *issuu*. Obtenido de issuu:  
[https://issuu.com/mariamarcana1996/docs/la\\_investigacion\\_experimental\\_pdf](https://issuu.com/mariamarcana1996/docs/la_investigacion_experimental_pdf)
- MathWorks, Inc. (2019). *MathWorks*. Obtenido de MathWorks:  
<https://www.mathworks.com/products/matlab-mobile.html>

- Mercado libre.* (s.f.). Obtenido de Mercado libre: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-719132816-electroestimulador-muscular-portatil-8-electrodos-diamond-\\_JM?quantity=1&variation=23192073880](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-719132816-electroestimulador-muscular-portatil-8-electrodos-diamond-_JM?quantity=1&variation=23192073880)
- Microchip.* (s.f.). Obtenido de Microchip: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP41010>
- Montbrun, A. (2012). *Automatización C.A.* Obtenido de Automatización C.A.: <http://www.eldish.net/hp/automat/matlab.htm>
- Newton.cnice.* (s.f.). Obtenido de Newton.cnice: [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/mcientifico/aulametodocientifico.pdf](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/mcientifico/aulametodocientifico.pdf)
- Ortopedia Online Tarancon.* (2013). Obtenido de Ortopedia Online Tarancon: <https://www.ortopediaonlinetarancon.com/tienda/ferula-para-paralisis-radial/>
- Piñero, B. M. (2 de Octubre de 2014). *Fisioterapia.* Obtenido de Fisioterapia: <http://fisioterapia.blogspot.com/2012/10/la-electroestimulacion.html>
- rambal.* (s.f.). Obtenido de rambal: <http://rambal.com/presion-peso-nivel-flex/250-sensor-flex.html>
- Rouse, M. (s.f.). *TechTarget.* Obtenido de TechTarget: <https://searchsqlserver.techtarget.com/definition/database>
- SaludyalgoMas.com.* (2019). Obtenido de SaludyalgoMas.com: <http://www.saludyalgomas.com/tablasnutricionales/peso-de-distintas-partes-del-cuerpo/>
- Selva, T. (s.f.). *Academia.* Obtenido de Academia: [https://www.academia.edu/21006392/Investigacion\\_Exploratoria\\_y\\_Concluyente](https://www.academia.edu/21006392/Investigacion_Exploratoria_y_Concluyente)
- Seminario IEE.* (s.f.). Obtenido de Seminario IEE: [http://profesores.fi-b.unam.mx/jlfl/Seminario\\_IEE/Metodologia\\_de\\_la\\_Inv.pdf](http://profesores.fi-b.unam.mx/jlfl/Seminario_IEE/Metodologia_de_la_Inv.pdf)
- Silván, C. M. (16 de Abril de 2017). *lifeder.* Obtenido de lifeder: <https://www.lifeder.com/nervio-radial/>
- Tapia, L., Meneses, I., Ayala, G., & Bañados, E. (2015). *Manual de Ortesis.* Chile.
- Team MathWorks Support. (15 de Junio de 2018). *Matlab Answers.* Obtenido de Matlab Answers: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/98376-what-is-matlab-mobile>
- UU., B. N. (30 de Mayo de 2017). *MedlinePlus.* Obtenido de MedlinePlus: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000790.htm>
- Walter. (26 de Diciembre de 2017). *Lesion nervio radial blogspot.* Obtenido de Lesion nervio radial blogspot: <http://lesionnervioradial.blogspot.com/2016/05/uso-de-la-ferula-dinamica.html>
- Winston, K. (2013). *Study.com.* Obtenido de Study.com: <https://study.com/academy/lesson/exploratory-research-definition-methods-examples.html>

## ANEXOS

### ANEXO 1

Diseño e implementación de la férula dinámica automática, base de datos y el sistema de electroestimulación.



*Figura 47 Pruebas del funcionamiento de la férula*  
*Fuente: Autores*



*Figura 48 Ajustes de la muñeca y mano a la férula para la rehabilitación del nervio*  
*Fuente: Autores*



*Figura 49 Pruebas del funcionamiento del electroestimulador a diferentes frecuencias y trenes de pulso.*

*Fuente: Autores*



**Figura 50** Pruebas del electroestimulador con el docente de fisioterapia de la UNACH  
**Fuente:** Autores



**Figura 51** Pruebas del funcionamiento del electroestimulador  
**Fuente:** Autores



**Figura 52** Electroestimulador con frecuencias de 18 y 83 Hz y con una intensidad de 7mA.  
**Fuente:** Autores

## ANEXO 2

### Manual de Usuario

## FÉRULA DINÁMICA AUTOMÁTICA

### FUNCIONES DE LA FÉRULA DINÁMICA AUTOMÁTICA

#### PROCESO:

- 1 Llenar la información requerida de la persona afectada, es de vital importancia para contar con un historial clínico y en caso de que se produzca algún tipo de emergencia.

**THERAPYCENTER**

Apellido del Paciente: \_\_\_\_\_ Nombre del Paciente: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_  
Ciudad: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_  
Fecha de Nacimiento: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
Sexo: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_

Tomar Foto

Dirección del tratamiento: \_\_\_\_\_  
Fisiopatología: \_\_\_\_\_  
Tratamiento: \_\_\_\_\_  
Alergias a un medicamento: \_\_\_\_\_  
Observaciones: \_\_\_\_\_  
Causas de la lesión: \_\_\_\_\_

Registrar Corregir

- 2 Al momento de designar un código al paciente afectado, se registrara con la foto de su rostro, de esa manera poder ubicarlo con mayor facilidad durante el tratamiento de rehabilitación.

Registro de paciente grande

Tomar Foto

Observaciones: \_\_\_\_\_  
Causas de la lesión: \_\_\_\_\_

Registrar Corregir

- 3 Se llena el registro de manera que no quede ni un espacio vacío, este ayuda al paciente a visualizar su diagnóstico, tratamiento y el tiempo de duración

**THERAPYCENTER**

Apellido del Paciente: Sanchez Ibarra Nombre del Paciente: Alexander Patricio  
Dirección: Pichincha y Jarama Teléfono: 2665-004  
Ciudad: Riobamba Provincia: Chimborazo  
Fecha de Nacimiento: 15 de febrero 1992 Edad: 25  
Sexo: Masculino Código: 15448

Tomar Foto

Duración del tratamiento: Lesión del nervio radial leve  
Diagnóstico: Lesión del nervio radial leve  
Tratamiento: Rehabilitación de ejercicios 5 veces al día por 8 días  
Alergias a un medicamento: Ninguna  
Observaciones: Ninguna  
Causas de la lesión: Presión a la parte superior del brazo durante el sueño

Registrar Corregir

- Se verifica la base de datos en el programa Excel, contando con el número de pacientes con diferentes afecciones

FICHA MEDICA DEL PACIENTE			
Apellidos del Paciente:	Sanchez Haro	Nombre del Paciente:	Alexander Patricio
Dirección:	Pedernales y Basim	Teléfono:	2995-804
Ciudad:	Mérida	Provincia:	Yucatán
Fecha de Nacimiento:	14 de febrero 1993	Edad:	25
Sexo:	Masculino	Código:	15440
Fecha de Registro:	8 mar 2018	17:18	
Diagnóstico:	Lesion del nervio radial leve		
Tratamiento:	Rehabilitación de ejercicios 5 veces al día por 8 días		
Alergias a un medicamento:	Ninguna		
Observaciones:	Ninguna		
Notas de la lesión:	Presión a la parte superior del brazo durante el sueño		

- Colocar la mano afectada sobre el dispositivo con toda la seguridad requerida para el paciente, conjuntamente conectados los dos electrodos.



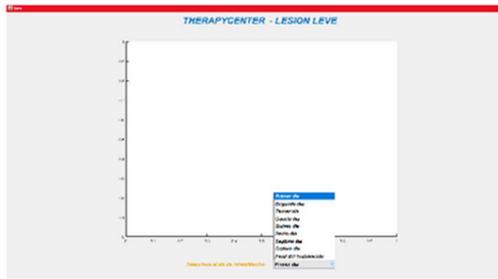
- La persona con las diferentes lesiones introduce su nombre y contraseña para ingresar al sistema y verificar el tipo de tratamiento a seguir.



- Se visualiza en la pantalla el tipo de lesión siendo estas, leve, normal y severa, el paciente deberá escoger de acuerdo al diagnóstico proporcionado por el médico.



- Se abre en el sistema varias opciones, se deberá escoger el día de acuerdo a su diagnóstico y tratamiento, visualizando una estadística completa de la terapia realizada en esa fecha.



## ANEXO 3

### MANUAL DEL ELECTROESTIMULADOR

Para la correcta utilización del electroestimulador se debe seguir las siguientes indicaciones:

- 1 Ubicarse los dos electrodos en la parte superior del antebrazo como muestra en la siguiente figura.

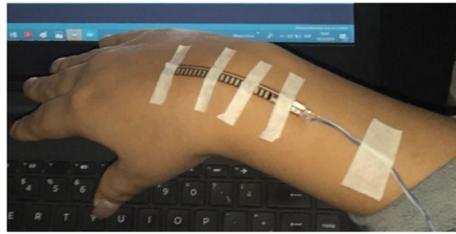


- 2 El cable de los electrodos conectarlos al conector del electroestimulador

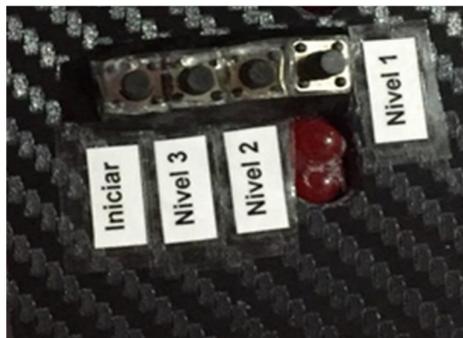


- 3 Ubicación del sensor flex en la parte superior entre la muñeca y mano, para la fácil comodidad del paciente se puede utilizar un guante, fajas, esparadrapo o cualquier tipo

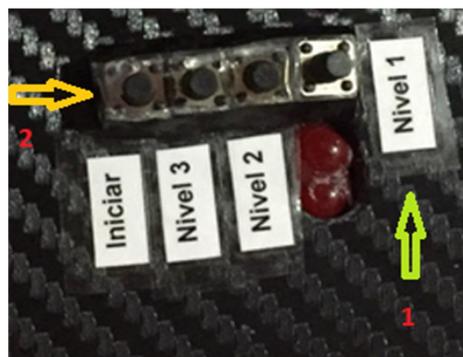
férula ortopédica que permita cubrir y mantenerlos fijos a los electrodos y sensor durante todo el tiempo de recuperación.



- 4 Los niveles de electroestimulación significan: el nivel 1 significa que será utilizado únicamente cuando el electroestimulador sea activado por el sensor flex es decir a frecuencias de 18 y 83Hz, el nivel 2 y el nivel 3 significa que el electroestimulador será utilizado conjuntamente con la férula automática con una frecuencia de 18 Hz.



- 5 Una vez pulsado el nivel en el que se encuentre, pulsamos el botón iniciar que permite arrancar el dispositivo.



- 6 Si se desea cambiar de nivel, lo primero que se debe hacer es presionar el botón resetear y proceder hacer los mismos pasos anteriores.



## ANEXO 4

### Programación del electroestimulador en Arduino

```
#include <SPI.h>
const int CS = 10;
int PotWiperVoltage = 1;
int RawVoltage = 0;
float Voltage = 0;
int level = 0;
//Constants:
const int flexPin = A0;
//Variables:
int value; //

const int buttonM1 = 7;
const int buttonM2 = 6;
const int buttonM3 = 5;
const int buttonSt = 4;
const int led1 = 9;
const int led2 = 8;
const int led3 = 3;

int M1 = 0;
int M2 = 0;
int M3 = 0;
int SET = 0;

int estado =0;
int modo =0;

void setup() {
```

```

pinMode (CS, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
SPI.begin();
// inicia los led como salida
pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);
// inicia los botones como entrada
pinMode(buttonM1, INPUT);
pinMode(buttonM2, INPUT);
pinMode(buttonM3, INPUT);
pinMode(buttonSt, INPUT);
////////////////////////////////////
while(estado == 0){
    // lee los estados de los botones
    M1 = digitalRead(buttonM1);
    M2 = digitalRead(buttonM2);
    M3 = digitalRead(buttonM3);
    SET = digitalRead(buttonSt);
    if (M1 == HIGH) {
        modo=1;
        estado=0;
        digitalWrite(led1, HIGH);
        digitalWrite(led2, LOW);
        digitalWrite(led3, LOW);
    }
    if (M2 == HIGH) {
        modo=2;
        estado=0;
        digitalWrite(led1, LOW);
        digitalWrite(led2, HIGH);
        digitalWrite(led3, LOW);
    }
    if (M3 == HIGH) {
        modo=3;
        estado=0;
        digitalWrite(led1, LOW);
        digitalWrite(led2, LOW);
        digitalWrite(led3, HIGH);
    }
    if (SET == HIGH) {
        estado=1;
        digitalWrite(led1, HIGH);
        digitalWrite(led2, HIGH);
        digitalWrite(led3, HIGH);
        delay(200);
        digitalWrite(led1, LOW);
        digitalWrite(led2, LOW);
        digitalWrite(led3, LOW);
        delay(200);
    }
}
////////////////////////////////////
}

```

```

void loop() {
//SENSOR
while(modo == 1){
  digitalWrite(led1, HIGH);
  digitalWrite(led2, LOW);
  digitalWrite(led3, LOW);
  value = analogRead(flexPin);
  Serial.println(value);
  if (value >800)
  {
    for (int level = 230; level < 255; level++)
    {
      MCP41010Write(225); //
      delay(1); //
      MCP41010Write(0);
      delay(11); // frecuencia 83HZ
    }

  }
  MCP41010Write(150);
  delay(5); //
  MCP41010Write(0);
  delay(50); //
}///// Fin modo 1
//SENSOR
while(modo == 2){
  digitalWrite(led1, LOW);
  digitalWrite(led2, HIGH);

```

```

    digitalWrite(led3, LOW);
    MCP41010Write(150);
    delay(5); //
    MCP41010Write(0);
    delay(50); //
}///// Fin modo 2

////modo3

while(modo == 3){
    digitalWrite(led1, LOW);
    digitalWrite(led2, LOW);
    digitalWrite(led3, HIGH);
    MCP41010Write(160);
    delay(5); //
    MCP41010Write(0);
    delay(50); //
}///// Fin modo 3

}

void MCP41010Write(byte value)
{
    digitalWrite(CS,LOW);
    SPI.transfer(B00010001);
    SPI.transfer(value);
    digitalWrite(CS,HIGH);
}

```

## ANEXO 5

### Programación de los servomotores en Matlab

```
31 - clear all
32 - clc
33 - delete(instrfind({'Port'}, {'DEMO'}))
34 - clear all port;
35 - a = arduino('COM4', 'uno');
36 - s=servo(a, 'D10');
37 - writePosition(s,0.35);
38 - pause(1)
39 - clear all
40 - clc
41 - delete(instrfind({'Port'}, {'DEMO'}))
42 - clear all port;
43 - a = arduino('COM4', 'uno');
44 - s=servo(a, 'D9');
45
46 - for i=1:8
47 -     writePosition(s,0.15);
48 -     pause(1);
49 -     writePosition(s,0.45);
50 -     pause(1)
51 - end
52 - writePosition(s,0.3)
53
54 - clear all
55 - clc
56 - a = arduino('COM4', 'uno');
57 - s=servo(a, 'D10');
58 - for i=1:8
59 -     writePosition(s,0.2);
60 -     pause(1);
61 -     writePosition(s,0.4);
62 -     pause(1)
63 - end
64 - writePosition(s,0.35)
65 - pause(1)
```

## ANEXO 6

**Certificación por parte del Lic. Luis Poalasin, docente de fisioterapia de la UNACH.**



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
Carrera de Terapia Física y Deportiva

## CERTIFICACIÓN

Yo, LIC. LUIS POALASIN MGS. con CC: **180217680-8**, Docente de la carrera de Terapia Física y Deportiva de la Universidad Nacional de Chimborazo, certifico que los señores estudiantes egresados de la Carrera de **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**: **GUANANGA CHAVARREA DIANA CATHERINE** con CC: **060469570-0** y **VINUEZA NARANJO ANGEL FERNANDO** con CC: **060411785-3**, con tema de tesis "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÉRULA PARA PERSONAS CON LESIONES EN LA MUÑECA Y DEL NERVIOS RADIAL**", dan cumplimiento con los requerimientos exigidos desde el punto de vista biológico; de terapia física y rehabilitación. Manifiesto que el prototipo cumple las condiciones necesarias para que contribuya el proceso de rehabilitación en pacientes que tenga la patología denominada "parálisis radial" luego de haber realizado capacitaciones continuas durante 18 horas.

Riobamba, 17 de abril de 2019

  
Lic. Luis Poalasin Mgs.  
DOCENTE DE TERAPIA FÍSICA

