



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA

**Facultad de Ciencias e Ingenierías**

**Departamento de tecnología**

**Tema:**

**“Dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua”**

**Seminario de Graduación para optar al título de Ingeniero en Electrónica**

**Autores:**

**Br. Cindy Steisi Cabrera Fornos**

**Br. Max Anthony Escobar Mejía**

**Tutor:**

**Msc. Milcíades Delgadillo Sánchez**

**Asesora Tecnológica:**

**Msc. Adriana Suazo Gonzáles**

**Asesora Metodológica:**

**Msc. Karen Acevedo Mena**

**Managua, Enero 2020**





**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA

**Facultad de Ciencias e Ingenierías**

**Departamento de tecnología**

**Tema:**

**“Dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua”**

**Seminario de Graduación para optar al título de Ingeniero en Electrónica**

**Autores:**

**Br. Cindy Steisi Cabrera Fornos**

**Br. Max Anthony Escobar Mejía**

**Tutor:**

**Msc. Milcíades Delgadillo Sánchez**

**Asesora Tecnológica:**

**Msc. Adriana Suazo Gonzáles**

**Asesora Metodológica:**

**Msc. Karen Acevedo Mena**

**Managua, Enero 2020**

## **Dedicatoria**

A todos los que guiaron mi camino desde mi niñez, hasta donde estoy hoy en día, me dieron sabiduría, fortaleza y ánimos para seguir para culminar mi carrera. A mi mamá por darme la vida, trabajar incansablemente por mí y luchar a pesar de los obstáculos.

A mis maestros, que me mostraron la ciencia del saber y me llenan de conocimientos, me educaron y mantuvieron vivo mi amor por la carrera.

A mis amigos, que han recorrido junto a mi este camino y lucha desde el inicio, que me ayudaron y tuvieron paciencia compartiendo la alegría de ir cumpliendo poco a poco nuestras metas comunes; a mis amigos que ya no estas por diversas razones, pero están presentes en mi corazón. A todos los que creyeron en mí.

A Babby Jashyko Fornos, Te Extraño.

***Cindy Steisi Cabrera Fornos***

Primeramente, a nuestro señor Jesús por concederme la sabiduría e inteligencia para enfrentar y vencer cada uno de los retos presentados.

A cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron para que fuese posible la culminación de este trabajo.

**Max Anthony Escobar Mejía**

## **Agradecimientos**

El elegir una profesión y luchar por ella no es tarea fácil, pero desde la infancia hay momentos y personas que marcan tu futuro. Agradezco a los que fueron y son parte de mi vida, a los que me ayudaron cuando no entendía algo, a los que me tuvieron paciencia, a los que me enseñaron.

De igual manera mis agradecimientos a la universidad nacional autónoma de Nicaragua UNAN-Managua por la oportunidad; a los profesores y colaboradores de la carrera de Ingeniería Electrónica, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que día a día crezca como profesional, gracias a cada uno por su dedicación, apoyo y amistad.

Gracias.

***Cindy Steisi Cabrera Fornos***

A mi madre y mi hermana por todo su apoyo, dedicación y sobre todo amor incondicional.

A mis maestros por todo el tiempo dedicado y todo el conocimiento compartido que contribuyó a la realización de este trabajo.

**Max Anthony Escobar Mejía**

## Valoración del tutor



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**  
**Departamento de Tecnología**

### VALORACION DEL DOCENTE

El profesor tutor del trabajo que lleva por nombre “**Dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua.**” Bajo la modalidad de seminario de graduación, elaborados por los Bachilleres **Br. Cindy Steisi Cabrera Fornos y Br. Max Anthony Escobar Mejía** de la carrera de Ingeniería electrónica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-MANAGUA) considera que dicho trabajo reúne los requisitos académicos y cumple con la estructura académica para ser presentado y defendido ante un tribunal examinador

Aprobado el 16 de Enero del 2020

Msc Milciades Delgadillo Sánchez

## Resumen

El principal objetivo del presente trabajo es elaborar un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua, además se realizó un análisis de las técnicas e instrumentos aplicados a la recuperación que actualmente son utilizados por el personal médico, de igual manera se efectuó un recorrido y plano correspondientes a las instalaciones de la clínica universitaria UNAN-Managua.

En correspondencia al diseño metodológico, la investigación es de tipo cuali-cuantitativa porque se determinan los principios teóricos, técnicas y fenomenología dando una indagación participativa dentro del campo de la electro-medicina en busca de cambio, reuniendo datos de manera estadística para la obtención de información verídica.

El área de estudio se desarrolló en la extensión de atención médica que brinda la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua, el universo lo representan todos los pacientes que fueron atendidos en la clínica universitaria en sus diferentes áreas. La muestra estuvo conformada por los deportistas registrados oficialmente en la exención de deporte y cultura. El tipo de muestreo fue no probabilístico y se seleccionó el tamaño de la muestra por conveniencia.

Los resultados obtenidos en base a la aplicación del dispositivo, satisfacen completamente los objetivos que permitieron el desarrollo del diseño y construcción de dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano. Además, este trabajo es la base para el desarrollo de múltiples dispositivos de asistencia y fortalecer la integración multidisciplinar dentro de la institución.

## Contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Valoración del tutor.....	iii
Resumen.....	iv
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes .....	3
III. Planteamiento del problema.....	6
IV. Justificación .....	7
V. Objetivos .....	9
5.1. Objetivo general .....	9
5.2. Objetivos específicos.....	9
VI. Marco Teórico.....	10
6.1. Médico-fisioterapeuta .....	10
6.2. Conceptos Médicos .....	10
6.2.1. La mano.....	10
6.2.2. Arquitectura de la mano .....	11
6.2.3. Articulaciones del miembro superior .....	11
6.2.4. Patologías .....	12
6.3. Conceptos Fisioterapéuticos.....	14
6.3.1. Dispositivos de asistencia terapéutica.....	14
6.3.2. Ortesis .....	15
6.4. Electrónico-Mecánico .....	16
6.5. Conceptos Electrónicos .....	16
6.5.1. Sistema de control .....	16

6.5.2. Microcontrolador .....	16
6.5.3. Motores eléctricos.....	18
6.6. Conceptos Mecánicos .....	19
6.6.2. Máquina y mecanismos .....	20
<b>VII. Diseño Metodológico .....</b>	<b>22</b>
7.1. Tipo de estudio .....	22
7.2. Área de estudio.....	22
7.3. Localización .....	22
7.3.1. Macro localización.....	23
7.3.2. Micro locación.....	24
7.4. Universo y muestra .....	25
7.5. Definición y operación de variables.....	26
7.6. Métodos e instrumentos de recolección de datos .....	28
7.7. Plan de análisis y procesamiento de la información.....	29
<b>VIII. Desarrollo .....</b>	<b>30</b>
8.1. Diagnóstico para determinar la necesidad de crear un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria .....	30
8.1.1. Infraestructura del lugar .....	30
8.1.2. Organización de la institución.....	31
8.1.3. Entrevista .....	32
8.1.4. Encuesta.....	35
8.1. Diseño de dispositivo de rehabilitación utilizando la herramienta digital Tinkercad en formato 3D a modo de proyección de resultados del diseño. ....	40

8.2.1. Antropometría del sistema .....	40
8.2.2. Especificaciones del diseño .....	41
8.2.3. Modelado 3D. ....	43
8.2.1. Diagrama de sistema.....	45
8.2.2. Sistema Electrónico .....	45
8.2.3. Sistema de programación.....	49
8.2.4. Sistema Mecánico.....	52
8.2.5. Presupuesto .....	56
8.3. Construcción de dispositivo de rehabilitación a nivel distal de los dedos de la mano para la clínica universitaria UNAN-Managua. ....	57
8.3.1. Construcción del dispositivo. ....	57
8.3.2 Aplicación .....	58
IX. Conclusión.....	60
X. Recomendaciones.....	61
XI. Bibliografía.....	62
XII. Anexos .....	65

## Índice de figuras

Figura 1 Arquitectura de la mano.....	11
Figura 2 Agarres Prensiles.....	11
Figura 3 Ortesis Estática.....	15
Figura 4 Ortesis dinámica.....	15
Figura 5 Estructura de un microcontrolador.....	17
Figura 6 Clasificación de los motores.....	19
Figura 7 Esquema general de una maquina.....	20
Figura 8 Macro localización UNAN-Managua.....	23
Figura 9 Micro localización Clínica Universitaria.....	24
Figura 10 Calculo de muestra.....	25
Figura 11 Plano de la Clínica Universitaria.....	30
Figura 12 Áreas de atención de la clínica universitaria.....	31
Figura 13 Área de estimulación eléctrica.....	34
Figura 14 Grafico de genero.....	35
Figura 15 Grafico de Edades.....	35
Figura 16 Deportes Practicados.....	36
Figura 17 Grafica de lesiones Previas.....	36
Figura 18 Asistencia por lesiones.....	37
Figura 19 Lesiones durante la liga.....	37
Figura 20 Lesiones durante practicas.....	38
Figura 21 Miembros de lesiones comunes.....	38
Figura 22 Terapias semanales.....	39
Figura 23 Desarrollo Útil.....	39
Figura 24 Antropometría de la mano.....	40
Figura 25 Especificaciones de diseño.....	41
Figura 26 Parte superior del diseño.....	43
Figura 27 Parte inferior del diseño.....	43
Figura 28 Diseño 3D vista vertical.....	44
Figura 29 Diseño 3D cista horizontal.....	44
Figura 30 Diagrama de bloques.....	45

<b>Figura 31 Esquema Arduino Nano.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 32 Diagrama Electrónico.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 33 Circuito Electro estimulador.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 34 Diagrama Lógico del Arduino.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 35 Diagrama Lógico de aplicación Android.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 36 Interfaz app Android.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 37 Mecanismo de Poleas.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 38 Mecanismo Elástico.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 39 Polea simple.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 40 Sistema de engranes simple.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 41 Mecanismo de engranes del sistema.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 42 Montaje de Circuito.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 43 Guante y circuito.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 44 Aplicación del dispositivo.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 45 Primera etapa del dispositivo.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 46 lugares estratégicos de electro estimulación.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 47 Electrodo s posicionados.....</b>	<b>59</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<b>Articulaciones y límites de los dedos.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 2</b>	<b>características de microcontrolador.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3</b>	<b>Coordenadas UNAN-Managua.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 4</b>	<b>Coordenadas Clínica Universitaria.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 5</b>	<b>MOVI.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 6</b>	<b>Medidas estándar de la mano.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>Angulo de flexión.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 8</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>55</b>

## **I. Introducción**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1981 establece como incapacidad “toda restricción o pérdida (causada por un defecto natural o no natural) de la capacidad para llevar a cabo una actividad del modo o en la medida que se consideran normales en un ser humano” (Hermida, 2010, p.2); estableciendo que un 15% de la población mundial es aquejada por la discapacidad de alguna forma.

En Nicaragua a través de la Encuesta Nacional de Discapacidad (ENDIS) del 2003, la cifra de discapacitados es de un 10.3% de la población total siendo más mujeres que hombres. La discapacidad no solo afecta físicamente al que la padece, sino a la economía y el desarrollo e integridad humana.

Con el paso del tiempo, los pequeños incidentes físicos, herencia familiar o accidentes, toman un valor significativo en el cuerpo, provocando la disminución o imposibilidades de movimiento en una articulación; siendo la fisioterapia una valiosa herramienta para la restauración de la movilidad. Las manos tienen un valor esencial en la vida, siendo portadoras de fuerza, sensibilidad, habilidad y expresión.

“La mano del hombre, en su complejidad, se revela, pues, como una estructura perfectamente lógica y adaptada a sus diferentes funciones. Es uno de los más bellos logros del universo” (Kapandji, 1999, p.146).

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, (UNAN-Managua), a través de la clínica universitaria, ofrece atención médica general y cesiones de rehabilitación fisioterapéuticas a deportistas, estudiantes y trabajadores de la institución, garantizando así su integridad física.

La Confederación Mundial de la Fisioterapia (W.C.P.T.) en 1987 realiza la siguiente definición: "La Fisioterapia es el conjunto de métodos, actuaciones y técnicas que, mediante la aplicación de medios físicos, curan, previenen, recuperan y adaptan a personas afectadas de disfunciones somáticas o a las que se desea mantener en un nivel adecuado de salud" (Cornejo, 1987, p. 5).

Este estudio muestra el proceso de diseño de un dispositivo, hasta un modelo funcional de rehabilitación para la mano, en lo que abarca las articulaciones de los dedos; que de manera automática realice rutinas repetitivas que la ejerciten la parte en cuestión, asistiendo al profesional médico en la ejecución de esta labor.

Como parte del diseño de este dispositivo, se inicia con un estudio sobre las principales necesidades y condiciones que debe presentar el dispositivo para el correcto funcionamiento del mecanismo y su función como asistente de rehabilitación, a través de la recopilación de información médica necesaria de múltiples fuentes y puntos de vista, para darle un contexto más completo al proyecto. Se abarca temas de la anatomía y fisiología de la mano, tanto las afecciones más comunes y el cómo la tecnología puede ser un plus para el desarrollo dentro de la medicina y campo de trabajo para la electrónica.

## II. Antecedentes

La aplicación de dispositivos de rehabilitación, surgen de la necesidad del ser humano de reparar, mejorar o sustituir una parte del cuerpo; evolucionando desde mecanismos rústicos y básicos, a instrumentos sofisticados y especializados. En el caso particular de la presente investigación se ha buscado contenido similar al abordado, en busca de información concreta y confiable que aporte al fundamento del mismo. Se hará mención de los más destacados e influyentes para esta investigación.

Yun Kang y Cho KJ (2017), A través de un grupo de investigación de la isla Jeju, corea del sur desarrollan el dispositivo “Exo-Glove Poly”, presentándolo en 12ª conferencia internacional sobre control, automatización y sistemas. Este dispositivo imita el movimiento de la mano con diferentes grados de fuerza aplicada. A través de un guante de silicona flexible, limitándose solo a la apertura y cierre de la mano, dando terapias completamente automatizadas en modo experimental.

Nigos, Tsagarakis y Candewell, (2003). Desarrollan para el centro de investigación de sistemas autónomos y robótica avanzada del departamento de electrónica, en la Universidad de Salford, Manchester, UK, el dispositivo “Soft-Actuated”. Este diseño cuenta con un exoesqueleto de 7 Gdl<sup>1</sup>, capaz de producir movimientos de flexo-extensión, abducción-aducción y rotación del hombro, flexo-extensión del codo, pronosupinación del antebrazo y desviación radio-ulnar de la mano; replicando el movimiento completo del brazo.

López Belloso, (2017). En la universidad de Valladolid en España, para optar a grado en ingeniería electrónica industrial y automática presenta: Diseño mecánico y primer prototipo de un robot de rehabilitación de mano “Exohand Festo”. Inicial

---

<sup>1</sup> Gdl: grados de libertad se refiere al movimiento en un espacio tridimensional, es decir, la capacidad de moverse hacia delante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha (traslación en tres ejes perpendiculares x, y, z).

mente este mecanismo, no estaba dirigido a la rehabilitación, sino a la automatización de plantas de producción. Posteriormente fue modificada para adaptarse como un guante, proyectando las posibles utilidades y variantes de diseño, siendo efectivo para ejercitar la fuerza y resistencia, en un diseño estéticamente futurista, teniendo un movimiento estructural ágil y preciso.

Ceballos y Rey (2017). Crean para el departamento de diseño industrial de la universidad Andes Mérida en Venezuela “Dispositivo de rehabilitación para articulación de muñeca desde el enfoque de la ingeniería concurrente”, plantean el diseño de un dispositivo automatizado para cuadros de sinovitis, artritis y terapia pre y postoperatoria para la articulación de la muñeca permitiendo la flexión dorsal-palmar y cubital-radial.

Juan Ayala, (2015), en conjunto con el programa de doctorado en ciencias de la escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica de Colombia presentan: “Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior”, con una estructura de 4 Gdl que permite reproducir movimientos activos-pasivos que generalmente son realizados por fisioterapeutas durante las terapias a nivel del brazo, donde cumple la función de flexión y extensión del mismo.

Zuniga, (2013). A modo de propuesta de proyecto en Chile desarrolla “Bestia cyborg”. Una prótesis de mano que permite al portador a través de dedos texturizados un mejor agarre y un sistema de tensión para la movilidad. Esta pieza fue creada a través de la impresión 3D, popularizándose en la organización sin fines de lucro de Enabling The Future, donde se fabrican prótesis de bajo costo para niños. La creación de este dispositivo es enteramente de prótesis, con su llamativo mecanismo y sensores brindan un diseño bastante flexible para múltiples funciones dejando a la imaginación de próximas generaciones.

Rodríguez (2018) en México desarrolla un “Dispositivo de rehabilitación de los dedos de la mano” (DReAM), de bajo costo para instituciones de salud pública, con

el objetivo de apoyar la terapia asistida con un mecanismo manivela-corredera en lesiones que afectan el movimiento de los dedos, buscando generar los movimientos naturales del flexo tensión, se comprobó que el prototipo tiene la capacidad de generar trayectorias elípticas y sincronizadas controlando la velocidad y ciclos; próximamente se podrá en estado experimental.

En Nicaragua para el año 2015, a través de voluntarios pertenecientes a Enablin The Future, donan una prótesis para un niño que de nacimiento careció de su mano derecha, convirtiéndose en la primera persona en recibir una prótesis biomecánica en el país. No cuenta con ningún motor y su material es plástico ABS utilizado dentro de la industria 3D, su estructura es fácil mente adaptable para ejercicios de flexión y extensión, pero ha sido dirigido para especial mente a prótesis.

En la universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), a modo de seminario de graduación (2019), Espinoza y Carranza implementan “Dispositivo de rehabilitación muscular en miembros inferiores para pacientes de la clínica de la UNAN-Managua” siendo el principal referente en esta investigación y antecedente inmediato de implementación tecnología a nivel de recinto.

Nicaragua se ha mantenido en la cultura de la medicina tradicional dentro de la fisioterapia acudiendo a ejercicios, masajes y tratamientos, ya sean caseros o profesionales. En el país no se cuenta con una gran variedad de tecnología asistida o de prótesis que den alternativas de tratamiento y competencia dentro del área tecnológica.

La necesidad de nuevas tecnologías para el progreso es una realidad del hoy, es por eso que con el “Diseño de dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua”, que se pretende realizar, se da una propuesta de acondicionamiento clínico, a modo de solucionar la demanda profesional y la inclusión de diferentes ciencias con el fin común de ayudar al desarrollo humano.

### **III. Planteamiento del problema**

En primera instancia la clínica universitaria cuenta con muy pocos dispositivos que asistan la rehabilitación, por lo cual la atención se limita a cierta cantidad de pacientes además del reducido espacio con el que cuentan sus instalaciones.

En segundo lugar, la fisioterapia para una exitosa recuperación se requiere constancia por parte de los pacientes y sesiones de ejercicios repetitivos con cierta intensidad y presión en puntos clave, lo cual conlleva según la afección, a pasar entre 40 minutos a 1 hora por cada sesión, tiempo en el cual solo se puede atender a un paciente a la vez.

La clínica universitaria cuenta con 3 áreas de atención médica, prestando diferentes servicios con la gran demanda que incurren becados, trabajadores, deporte y cultura. El equipamiento y mobiliario con el que disponen no es del todo funcional ni cómodo para los pacientes considerando que los que acuden a esta extensión llegan con dolencias a considerar.

La mano es una de las articulaciones de uso más frecuentes, en su estructura se encuentran múltiples huesos, músculos y ligamentos; donde las actividades básicas con la que se enfrenta día a día, pueden ser las condiciones óptimas para la anquilosis, una acción simple puede traer dolorosas consecuencias, donde la óptima opción es la evaluación de un especialista, tratamiento y cuidado adecuado. La UNAN-Managua cuenta con deportistas que representan a la institución, siendo los usuarios de mayor demanda en la clínica y necesitan ser atendidos de la mejor manera y eficientemente. Por tanto, la formulación del problema es:

**¿Cómo se podría satisfacer la demanda de especialistas fisioterapeutas, permitiendo una mejor atención y misma calidad del servicio en menos tiempo?**

#### **IV. Justificación**

La clínica universitaria UNAN-Managua, es una extensión médica brindada por la institución que ofrece consultas generales y una especialización en el área de fisioterapia para los miembros activos del recinto, que por labores típicas de su cargo, pasatiempo o deportes requieren este servicio; la clínica además cuenta con el servicio de farmacia para resolver las necesidades básicas de los pacientes.

En una sesión de terapia, es estrictamente necesario el contacto físico, para evaluación y masajes; por otra parte, tenemos la realización repetitiva de acciones específicas a modo de ejercicio, esta parte puede ser fácilmente asumida por un dispositivo de asistencia, que agilice el proceso, dando pase a la atención de más pacientes, con la misma calidad.

Hoy en día las instalaciones de la clínica universitaria UNAN-Managua no disponen de muchos especialistas para dar abasto a nivel de la demanda; tampoco son acreedores de dispositivos tecnológicos para uso de las sesiones. Es por eso que la propuesta de diseño de un dispositivo de rehabilitación para el miembro superior, es una necesidad, para dar un mayor abasto y compensar la demanda de especialistas con dispositivo de asistencia. Este desafío queda a manos de futuros profesionales que, al indagar a profundidad en las necesidades dentro de la institución, despliegan un abanico de problemas y necesidades pero que son una oportunidad para el auto desarrollo dentro de la carrera de ingeniería electrónica.

Sin embargo, al tener un dispositivo capaz de imitar ciertas funciones de un especialista, se puede lograr un mayor alcance al momento de la atención, con esto no se pretende erradicar la intervención humana, sino el brindar un asistente electrónico-mecánico que resuelva la necesidad al dar un servicio a pacientes con afecciones de la movilidad y articulaciones más eficiente.

Para darle un sentido más completo al diseño se realizará un análisis del sistema de rehabilitación en pacientes de fisioterapia en clínica universitaria UNAN-Managua, con ello se incluye la identificación de métodos y debilidades, con esto se propone una opción para mejorar el sistema de rehabilitación de manera electrónica, para facilitar y dar un mayor alcance a la terapia, con una mayor expectativa en el servicio, atención y calidad. El estudio es innovador en lo que abarca, ya que responde a una problemática real, dentro de la institución, además de que puede ser implementada en diferentes enfoques. Siendo un diseño base para generar una propuesta en pro del óptimo uso de los recursos electrónicos como herramientas para la rehabilitación. La información generada servirá como aporte científico para futuras investigaciones médico-electrónicas, además contribuirá a la adopción y puesta en práctica del desarrollo de nuevas y competentes tecnologías.

## **V. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

Elaborar un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la necesidad de crear un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria.
- Diseñar un dispositivo para terapias de rehabilitación fisioterapéutica utilizando la herramienta digital Tinkercad 3D a modo de proyección de resultados.
- Construir un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano para la clínica universitaria de la UNAN-Managua.

## **VI. Marco Teórico**

El diseño del dispositivo propuesto en este trabajo, está compuesto por el desarrollo de múltiples técnicas, médico-fisioterapeuta y electrónico-mecánico, para un fundamento y guía de conocimientos a considerar en el dispositivo. A continuación, se aclaran conceptos elementales para una mejor comprensión.

### **6.1. Médico-fisioterapeuta**

La medicina, estudia las diferentes enfermedades, modos de prevenirlas y aliviar el dolor a través del uso de medicación en sus diferentes formas; pero en muchos casos donde la afección es a nivel óseo o muscular se necesita del complemento fisioterapéutico, ya que la medicina por sí sola no logra una recuperación, es donde actúan la fisioterapia en la aplicación de agentes físicos naturales o artificiales (calor, frío, radiación luminosa).

### **6.2. Conceptos Médicos**

#### **6.2.1. La mano**

Se puede decir que la mano es una de las estructuras más complejas y completas que posee el ser humano, siendo el extremo distal de extremidad superior, con la función fundamental de prensión; la principal receptora del sentido del tacto en la exploración del mundo y comunicación no verbal. Gracias a su peculiar arquitectura puede tomar múltiples posiciones; el pulgar tiene la particularidad de poder alcanzar el resto de los dedos, convirtiéndose en una especie de prensa, siendo muy útil para el proceso de agarre, la manipulación de objetos y herramientas. (Castro, 2005).

### 6.2.2. Arquitectura de la mano

En la composición ósea de la mano, figura (1), consiste en un total de 27 huesos, divididos en tres grupos:

- **El carpo:** con un conjunto de 8 huesos cortos, conocidos también por “el talón de la mano” debido a su rigidez y fuerza que se encarga de sostener el peso en la mano.
- **El metacarpo:** conformado por 5 huesos largos en escala, son la parte de la palma o dorso de la mano.
- **Falanges:** con 14 huesos, fácilmente identificables puesto que son los llamados dedos.

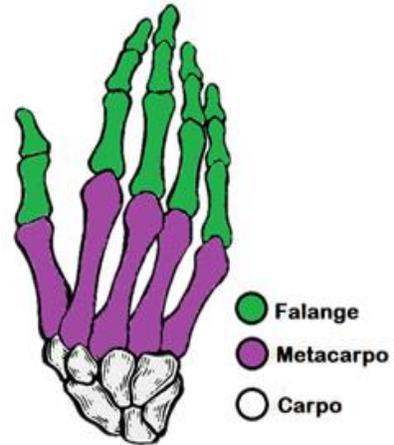


Figura 1 Arquitectura de la mano

Fuente: (okdiario, 2017)

### 6.2.3. Articulaciones del miembro superior

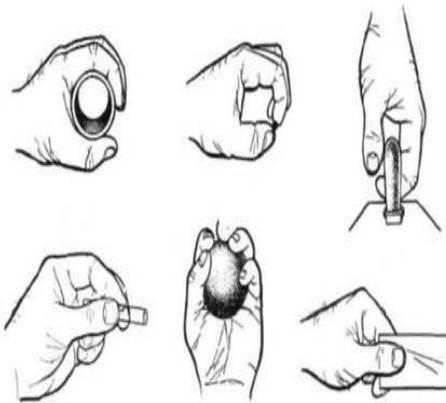


Figura 2 Agarres Prensiles

Fuente: (Taylor y schawart, 1955)

La mano cuenta con un total de 25 articulaciones que hacen posible la realización de 58 los diferentes movimientos por la acción de 40 músculos, que permiten 2 tipos de sujeción: Los prensiles donde un objeto permanece parcial o totalmente dentro de la mano y los no prensiles donde para la manipulación de objeto requiere de un empuje, levantarlo o el uno de menos dedos. En la figura (2) se muestran los agarres prensiles humanos (cilíndrico, de punta, de gancho, palmar, esférico y lateral).

En los dedos hay 3 grupos musculares: Los flexores extrínsecos, el musculo extensor digitorum y el musculo insentrico; cada uno toma un papel importante en la movilidad y estabilidad.

En la tabla (1) Articulaciones y límites de la mano, podemos ver el ángulo de movimiento que tiene cada dedo, siendo el de mayor alcance el pulgar que es capaz de alcanzar a todos los demás gracias a su articulación interna con la que cuenta. (Burgos y Albán, 2010).

*Tabla 1 Articulaciones y límites de los dedos*

Parte	Articulación	Angulo de FI. extensión	Angulo de Flex. aducción
<b>Dedos</b>	DIP	60	
	PIP	100	
	MCP	90	60
<b>Pulgar</b>	IP	85	
	MCP	50	30
	CMC	120	45

**Fuente:** (docplayer, 2010)

#### **6.2.4. Patologías**

Al referirse a patologías, se considera la disminución o pérdida de movimiento en algún elemento anatómico; volviéndose una anomalía que debe ser evaluada y tratada. Las patologías de la mano son muy variadas, dada a la fragilidad y exposición de la misma, además de las lesiones típicas, alteraciones o herencia genética; se consideran:

- **La mano traumática:** provocada por fracturas o dislocaciones de los metacarpianos, por actividades deportivas de contacto, accidentes, trabajos donde se requiera de elementos o materiales pesados, movimientos repetitivos, caídas sobre la mano en flexión palmar o por edad avanzada. Un evento traumático agudo supone casos de desgarre de musculo o tendones. (Tibaduiza y Grosso, J. M. 2009).
- **La mano paralítica:** la movilidad se ve afectada por una compresión del nervio medio en el estrecho paso por la muñeca, este es el encargado de proporcionar las funciones motoras y sensoriales al pulgar, por ende, no puede realizar movimientos de agarre por el dolor que esta causa en todo el trayecto del nervio. Esta afección es de origen genético o traumático. (Vazquez, Costa y Caballero, 2002).
- **La mano reumática:** también llamada artritis reumatoide, provoca la inflamación de articulaciones que llegan a afectar las funciones y apariencia de las manos; antes de un cuadro crítico, se debe utilizar ortesis fijas y ejercicios isométricos antes de una intervención quirúrgica. Esta anomalía tiene predisposición en jóvenes y sobre todo mujeres con herencia genética. (Alvarez y Lario, 2003).

La fisioterapia en los casos que requieran cirugía, entra en acción en el periodo de rehabilitación; después de la inmovilización, por tiempo de sanación las funcionalidades y fuerza se atrofian, además se requiere de una reevaluación del estado muscular.

### **6.3. Conceptos Fisioterapéuticos**

La confederación mundial de fisioterapia establece; “La fisioterapia es el arte y ciencia del tratamiento físico, es decir, el conjunto de técnicas que mediante la aplicación de agentes físicos curan, previenen, recuperan y adaptan a los pacientes susceptibles a recibir tratamiento físico” (ICOFC,2019).

Esta rama de la medicina se encarga de emplear el sentido del tacto para la exploración, limitaciones y discapacidades, brindar un diagnóstico e intervención con el fin de aliviar y corregir, a través de masajes, cinética, mecánica, agentes térmicos, eléctricos y electromagnéticos. Considerada también como “medicina física” por el uso de ejercicios de carácter repetitivo a modo de rehabilitación o de tipo preventivas, para el mantenimiento físico y calidad de vida de hombres, mujeres y niños de cualquier edad. (SERMEF, 2006).

#### **6.3.1. Dispositivos de asistencia terapéutica**

El uso de dispositivos de asistencia para labores terapéuticas es cada vez más común, permitiendo el desarrollo de sesiones más dinámicas, estos mecanismos realizan los ejercicios repetitivos de flexión, extensión y rotación de forma precisa, controlada por el especialista que maneja la velocidad y tiempo que requiera el paciente.

### 6.3.2. Ortesis

Moroz (2009), explica que “Las ortesis proporcionan apoyo para las articulaciones, los ligamentos, los tendones, los músculos y los huesos dañados. La mayoría de ellas están adaptadas a las necesidades y la anatomía de un paciente determinado.” (MSD.2019).

El desarrollo de dispositivos biomecánicos de uso externo, son aplicados para restauración, corrección o mejorar las funciones del sistema articulado en miembros superiores, el trabajo estructural puede ser fácilmente aplicado por un fisioterapeuta, esto puede variar según la complejidad del diseño:

- **Ortesis estática:** Esta estructura mantiene fijo el musculo, en una determinada postura, utilizado como soporte rígido en fracturas o condiciones inflamatorias. Véase figura (3).
- **Ortesis dinámica:** estas disponen de mecanismos que permiten, facilitan o guían el movimiento, en su uso está el asistir terapias de rehabilitación o fortalecimiento por atrofia. (Arce, 2005). Véase figura (4).



*Figura 3 Ortesis Estática*

**Fuente:** (ORLIMAN, 2019)



*Figura 4 Ortesis Dinámica*

**Fuente:** (Ortoiberica, 2015)

## **6.4. Electrónico-Mecánico**

La aplicación de sistemas electrónicos, radica en el conocer el comportamiento de los diferentes dispositivos analógicos y digitales, siendo la parte inteligente dentro de un mecanismo, que utiliza un conjunto de piezas y elementos para la realización de un trabajo o función. La automatización depende de la función electrónica para controlar los pulsos de accionamientos mecánicos, facilitando trabajos operacionales humanos.

## **6.5. Conceptos Electrónicos**

### **6.5.1. Sistema de control**

Los sistemas de control, son la parte del procedimiento dedicados para la obtención del resultado deseado, por medio de múltiples entradas de referencia, las cuales gobiernan la parte de control y sistema, administrando y dirigiendo proceso, además de disminuir las fayas del sistema. Podemos clasificarlos según sean de lazo abierto, donde la salida no afecta la acción de control y lazo cerrado, donde la salida si ejerce efecto sobre la acción de control. (Pérez y Pérez E, 2008, p.12).

### **6.5.2. Microcontrolador**

“Un microcontrolador es un pequeño ordenador que contiene en su interior básicamente un procesador, soporte (reloj y reset), memoria y puertos de entrada-salida, todo ello dentro de un pequeño chip que podemos programar con total flexibilidad y relativa facilidad”. (Velasco, 2011, p.1)

Los micro controladores han sido desarrollados para cubrir diversas aplicaciones, en la locomoción, comunicación, instrumentos electrónicos, juguetes, entre otros; es un circuito integrado (chip), que es parte incrustada o embebido en la aplicación, principalmente concebidos en aplicaciones puntuales, donde el micro controlador

debe ejecutar pequeñas tareas almacenadas en su memoria, al menor costo posible; entre mayor sea el proyecto a controlar, más número de micro controladores se necesita. (Breijo, 2012, p.7).

### 6.5.2.1. Estructura del microcontrolador

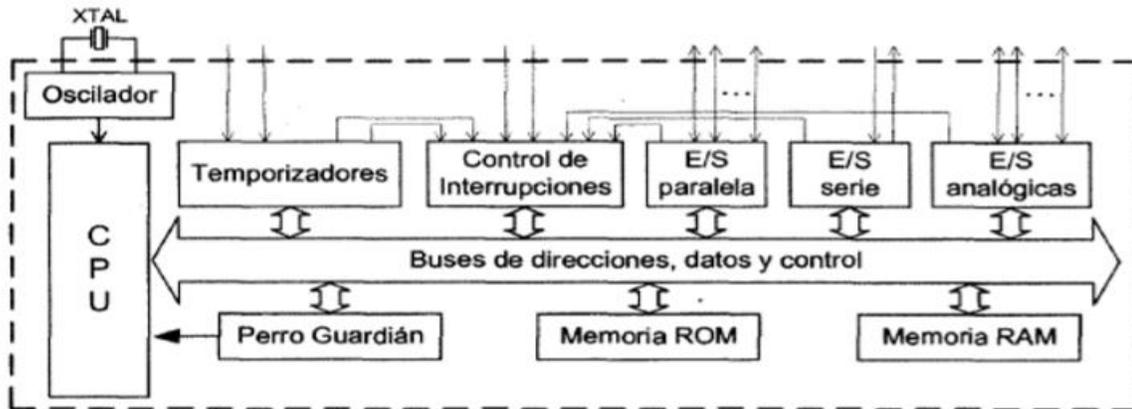


Figura 5 Estructura de un microcontrolador

Fuente: (wordpress, 2016)

A la referencia estructural de un micro controlador, tenemos como idea principal que cuenta con las funciones básicas de un computador, pero en un solo integrado de menor tamaño; como se muestra en la figura (5).

### 6.5.2.2. Arduino Nano

Arduino Nano ATMEGA328P es una pequeña y completa placa electrónica basada en el ATmega328, tiene 32KB de memoria flash para almacenar código. Tiene 14 pines de entrada / salida de los cuales 6 se pueden utilizar como salida PWM y 8 entradas analógicas. Cuenta con una tensión de funcionamiento de 5V, sin embargo, la tensión de entrada varía de 7 a 12V. En la siguiente tabla puede verse las características básicas del microcontrolador Arduino Nano. (Mantech,2015, p.1).

Tabla 2 Características del microcontrolador

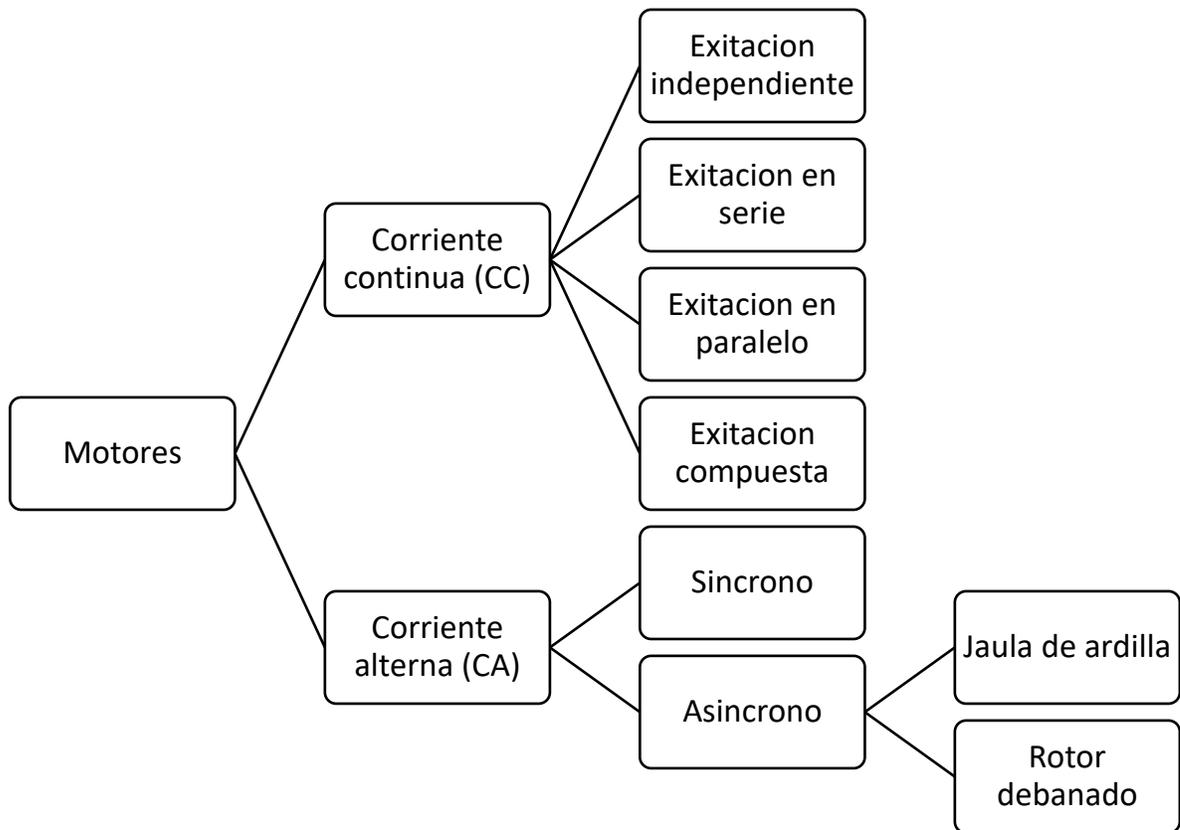
<b>Arduino Nano ATMEGA328P</b>	
Tensión de operación (nivel lógico)	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12V (recomendada) 6-20V (limite)
Pines Digitales I/O	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entradas Analógicas	8 (corriente máxima en c/u= 40 mA)
Memoria Flash	32 KB donde 2 KB los usan el bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	18,5 mm x 43,2 mm

Fuente: (arduino.cc)

### 6.5.3. Motores eléctricos

El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Tiene un movimiento de rotación. El motor de CC transforma la energía eléctrica de CC en energía mecánica; esta operación está basada sobre el principio que cuando circula una corriente por un conductor dentro de un campo magnético, el conductor experimenta una fuerza. (Chapman, 2012, p.1).

En la figura (6), podemos ver la clasificación básica y general de motores eléctricos; las cuales, en su particularidad, llegan a tener múltiples derivaciones según su aplicación y potencia.



*Figura 6 Clasificación de los motores*

Fuente: (Blogspot, 2015)

## 6.6. Conceptos Mecánicos

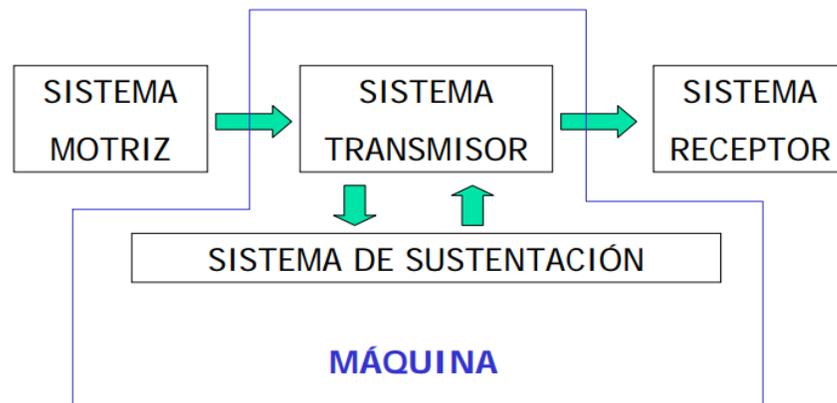
La mecánica es una ciencia física, donde el interés es estudio de los cuerpos y los efectos de las fuerzas que actúan en él, para explicarlos y proporcionales aplicaciones. Los conceptos básicos utilizados en la mecánica son:

- **Masa:** comparación de cuerpos
- **Fuerza:** Acción de un cuerpo sobre otro, magnitud y dirección.
- **Espacio:** Noción de posición de un punto x.
- **Tiempo:** duración de proceso.

(Shigley y Uicker, 1983, p. 1)

## 6.6.2. Máquina y mecanismos

Reulaux (2006, p.1) define máquina como una "combinación de cuerpos resistentes de manera que, por medio de ellos, las fuerzas mecánicas de la naturaleza se pueden encauzar para realizar un trabajo acompañado de movimientos determinados". Por otra parte, define mecanismo como una "combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones móviles para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo, y cuyo propósito es transformar el movimiento" Si se habla de una estructura, también es una combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones (en el caso de estructuras articuladas), pero su objeto no es ni realizar trabajo, ni movimiento, sino que es rígida e inmóvil. (Pérez y Contín, 1983, p.1). En la figura (7), vemos un esquema general de los conjuntos de sistemas que componen una máquina.



*Figura 7 Esquema general de una maquina*

Fuente: (DocPlayer, 2012)

### 6.6.1.1. Composición de un mecanismo

Un mecanismo, para cumplir su propósito de lograr un movimiento adecuado según se requiera, necesita piezas llamadas:

- **Eslabones:** según Reuleaux, se habla de una "combinación de cuerpos resistentes", estos cuerpos resistentes que son elementos constitutivos del

mecanismo reciben, de forma genérica, el nombre de eslabones pudiendo adquirir nombres particulares dependiendo de la función que realicen.

- **Pares:** los eslabones deben estar unidos entre sí "por medio de articulaciones móviles" es decir de forma que se permita el movimiento relativo entre ellos. A estas uniones móviles de dos eslabones entre sí se las denomina pares cinemáticos o simplemente pares. Clasificándose según la naturaleza del contacto; Pares superiores, donde el contacto es lineal o puntual; Pares inferiores, donde el contacto es superficial.  
(Uicker, Pérez y Contín, 1983, p.2)

#### 6.6.1.2. Grados de libertad de un mecanismo

Se denomina número de grados de libertad de un mecanismo o movilidad del mismo, al número de parámetros de entrada que se debe controlar independientemente con el fin de llevar al mecanismo a una posición en particular. Si un mecanismo plano posee  $n$  eslabones, cada uno de ellos, antes de conectarse, poseerá tres grados de libertad, excepto el eslabón fijo o bancada. Luego antes de conectarse, el número de grados de libertad será de:  $3(n-1)$ .

A medida que se van conectando eslabones por medio de pares, se está restringiendo el movimiento relativo entre ellos, por lo tanto, una vez conectados todos los eslabones, el número de grados de libertad del mecanismo será:  $m=3(n-1)-2^{J_1-J_2}$ . (Uicker, Pérez y Contín, 1983, p.6).

## **VII. Diseño Metodológico**

### **7.1. Tipo de estudio**

De acuerdo al diseño metodológico la presente investigación tiene un enfoque mixto ya que cuenta con elementos cuali-cuantitativo que permitieron la evaluación de las necesidades en la clínica universitaria y de los pacientes, recolectando información valiosa de la población estudiada a través de la recolección de datos numéricos: y la observación de métodos de rehabilitación. (Canales, Alvarado y Pineda, 1994).

El tipo de estudio es experimental, ya que se desea comprobar los efectos de una intervención específica, para la evaluación de la eficacia de un nuevo método de asistencia médica para rehabilitación fisioterapéutica a través de un dispositivo electrónico, donde se lleva un papel activo dentro de la investigación, ya que el objetivo final es la obtención de resultados de la exposición.

### **7.2. Área de estudio**

El área de estudio se desarrolló en la colonia Miguel Bonilla, contiguo a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), en el cual la institución es propietaria de ciertos terrenos y casas, donde destaca el área de la clínica universitaria.

### **7.3. Localización**

Se detalla la localización exacta de la clínica universitaria, donde se pretende llevar a cabo el diseño del dispositivo, como parte del diagnóstico estructural y de las condiciones del local.

### 7.3.1. Macro localización

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León, fue fundada en 1812, siendo la primera universidad del país. La fundación de la UNAN-Managua llega en 1941 en su recinto universitario RURD; Esta ubicada de la rotonda universitaria Rigoberto López Pérez, 150 metros al este, a como se muestra en la figura (8) en su ubicación satelital, y las coordenadas específicas en la tabla (2). Esta sede funciona con cinco facultades y un instituto politécnico de salud POLISAL, siendo la universidad más grande de Nicaragua y sede central en Managua.



*Figura 8 Macro localización UNAN-Managua*

**Fuente:** (Google Maps)

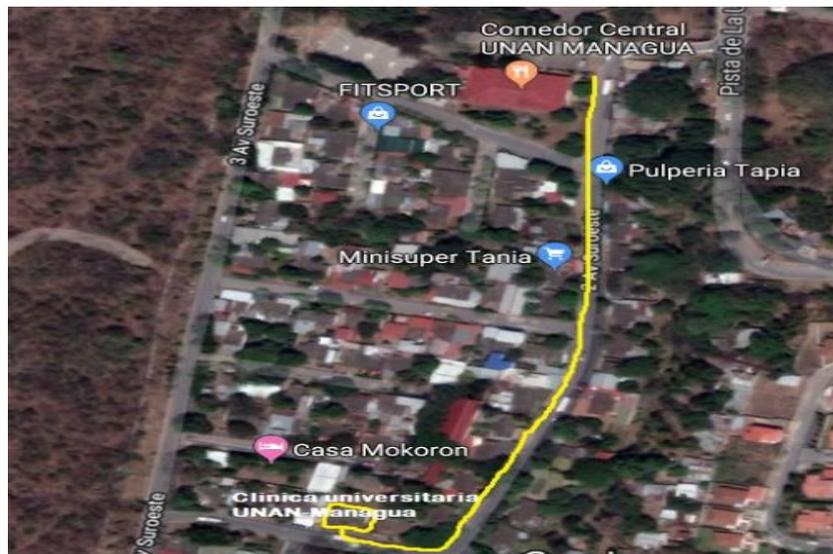
*Tabla 3 Coordenadas UNAN-Managua*

<b>Latitud</b>	<b>12.10262170799318</b>
<b>Longitud</b>	<b>-86.27367943525314</b>
<b>Altitud</b>	<b>108m</b>

**Fuente:** (Google Maps)

### 7.3.2. Micro localización

La clínica universitaria UNAN-Managua, fue fundada en 1980, con el propósito de atender a los becados internos que en su mayoría no son de la ciudad y desconocían la ubicación de los centros hospitalarios, también se agregó un apartado de atención fisioterapéutica para los deportistas; esta instalación se encuentra ubicada, del comedor central UNAN-Managua 3 cuerdas al sur, ½ cuadra al oeste, casa # 110; a como se muestra en la figura (9) con su respectivas coordenadas en la tabla (3).



*Figura 9 Micro localización  
Clínica Universitaria*

**Fuente:** (Google Maps)

*Tabla 4 Coordenadas Clínica Universitaria*

<b>Latitud</b>	<b>12.10852</b>
<b>Longitud</b>	<b>-85.27407908439636</b>
<b>Altitud</b>	<b>108m</b>

**Fuente:** (Google Maps)

#### 7.4. Universo y muestra

El universo de esta investigación es todo paciente del área de fisioterapia en la clínica universitaria UNAN-Managua. El tipo de muestra es no probabilístico ya que la selección de muestreo fue por conveniencia, donde se eligió al grupo que tuviera mayoría de los pacientes recurrentes en la clínica, siendo así los deportistas.

La UNAN-Managua, cuenta con 2 campos de beisbol, 2 campos de futbol, 4 canchas multiuso para basquetbol, voleibol y futbol salón; estas condiciones se prestan para el desarrollo de 4 disciplinas deportivas a modo amateur, dando con la participación de 118 deportistas registrados de la extensión de deporte y cultura en las diferentes áreas de:

- Futbol campo
- Voleibol
- Basquetbol
- Beisbol

El universo es de 118 personas, dando una muestra conformada por 44 estudiantes/deportistas, actualmente partes activas las diferentes disciplinas; después de conocer el número de la población que abarca la investigación, el cálculo de este dato estadístico fue dado por la fórmula general; véase figura (12).

$$n = \frac{90\%^2(0.5)(0.5)}{10\%^2 + \left(\frac{90\%^2(0.5)(0.5)}{118}\right)} = 44$$

*Figura 10* Cálculo de muestra

**Fuente:** (Nesquest.com)

Donde:

- **k:** 1.65 (nivel de confianza 90%)
- **p:** 0.5 (valor constante).
- **q:** 0.5 (valor constante).
- **N:** 118 (Universo).
- **e:** 10% (Margen de error)
- **n:** Resultado/Tamaño de la muestra.

## 7.5. Definición y operación de variables

Tabla 5 MOVI

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Sub-VARIABLES o Dimensiones	Variable operativa o indicador	Técnicas de recolección de datos e información
Diagnóstico para determinar la necesidad de crear un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria.	1. Diagnóstico de las necesidades de la clínica universitaria	1.1. Accesibilidad geográfica 1.2. Suple las necesidades de los pacientes	1.1.1 Dispositivos con los que cuenta la instalación. 1.2.1 Cantidad de pacientes que entienden al día. 1.2.2 Organización de la institución	Entrevista directa, asesoría de especialista, encuesta y visitas a las instalaciones de la clínica universitaria. Guía de observación.
Diseño de dispositivo para terapias de rehabilitación fisioterapéutica con Tinkercad 3D a modo de proyección de resultados del diseño.	2. Diseño de proyección del dispositivo	2.1. Diseño basado en las necesidades del paciente. 2.2. Diseño de fácil uso y estético.	2.1.1. La composición y características del dispositivo 2.2.1 Mostrar las conexiones electrónicas internas. 2.2.2 Presupuesto	Ficha de funcionamiento Proteus (conexiones electrónicas)
Construcción de dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano para la clínica universitaria.	3. Construcción del dispositivo basado en el diseño 3D.	3.1. Coordinación físico/ programación 3.2. Permisos y visitas a la clínica.	3.1.1 Pruebas de funcionamiento a nivel de laboratorio. 3.2.1 Aplicación experimental a sujeto x.	Reporte de funcionamiento. Alcance del dispositivo

Fuente: (Propia)

En la tabla 5 se puede apreciar los objetivos de trabajo así mismo sus variables y métodos de realización, además de la forma de obtención de información para el desarrollo de la investigación.

## **7.6. Métodos e instrumentos de recolección de datos**

El estudio que se abordó es de tipo mixto cuali-cuantitativo ya que para la presente investigación se acudió a técnicas como la observación directa de las instalaciones, áreas de atención, requerimientos y necesidades con las que cuenta actualmente la clínica universitaria; entrevista y asesoría directa con autoridades del área de fisioterapia, así mismo se aplicó una encuesta a 44 deportistas activos que forman parte del registro oficial de la extensión de cultura y deporte.

**Encuesta:** Con el uso de una plantilla especificada y dirigida a deportistas activos de la institución, al aplicarla se obtuvo información específica del tema, aplicando preguntas concisas de la situación en la clínica y opinión general del dispositivo de rehabilitación, todos los encuestados tienen un dominio completo del tema ya que son o han sido pacientes de la misma.

**Entrevista directa:** A través de un cuestionario diseñado para la obtención de datos de interés y relevantes para la investigación. Aplicada a uno de los 4 especialistas titulares de la clínica el cual brindó información general de la institución, técnicas utilizadas, dispositivos con los que cuentan, recomendaciones, sugerencias y parte de su experiencia laboral en el sitio.

Las visitas de campo contribuyeron a recopilar información que no se obtuvo por medio de la encuesta o entrevista, se obtuvo a través de la observación, como lo es los planos del local, la deficiencia en la atención lo cual se aborda en el planteamiento del problema.

La asesoría por parte de un especialista dará el punto de vista médico para la aplicación y funcionalidad del dispositivo, además de ampliar el conocimiento práctico en fisioterapia y variantes a considerar en el diseño y construcción.

### **7.7. Plan de análisis y procesamiento de la información**

Para el procesamiento de los datos obtenidos mediante las encuestas se utilizó el programa Excel 2013 para la inserción de los valores al documento en formato de columnas, representando las preguntas relacionadas en pares y así mismo la comparación y relación de las mismas.

El diseño 3D es construido mediante la herramienta de uso online Tinkercad, el programa es totalmente gratuito, cuenta con una interfaz simple y facilidad de uso además de contar con simuladores de circuitería básica de Arduino. El diseño es aspirado mediante la investigación de antecedentes y los múltiples formatos de presentación para el mismo fin.

La circuitería es simulada por el software de automatización de diseño electrónico PROTEUS que facilita la observación del comportamiento en conjunto de los elementos, el cual debe ser analizado antes de un montaje físico para la prevención de posibles fallas y errores para un correcto funcionamiento del mecanismo.

El desarrollo de la programación es a través del software y hardware libre de Arduino, donde se diseñó el código del lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, micro chip MCP4728.

## VIII. Desarrollo

### 8.1. Diagnóstico para determinar la necesidad de crear un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria

Con este diagnóstico se logrará conocer más a fondo aspectos necesarios a tomar en cuenta a la hora del diseño del dispositivo como las instalaciones, espacio, equipos con los que ya cuentan; además de indagar sobre las características y necesidades de los pacientes.

#### 8.1.1. Infraestructura del lugar

La clínica universitaria UNAN-Managua, en su infraestructura interna tiene considerada 6 áreas básicas de función, donde se tiene pensado y dividido según la necesidad del paciente, donde 4 son de acceso público (área de espera, consultorio, fisioterapia y baños respectivamente; véase la figura (11)).



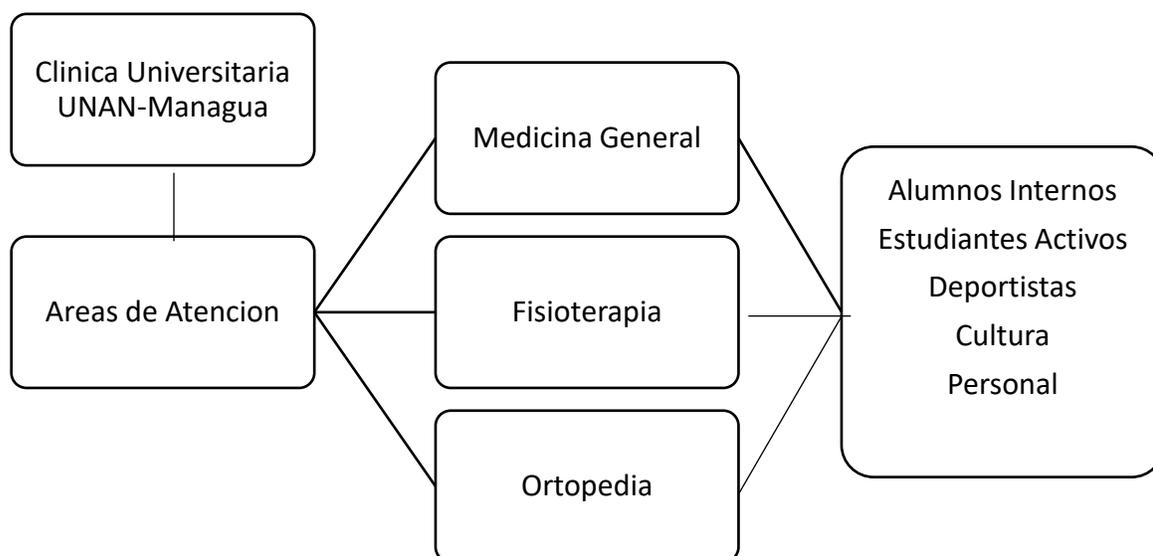
Figura 11 Plano de la Clínica Universitaria

Fuente: (Propia)

### 8.1.2. Organización de la institución

La clínica universitaria UNAN-Managua inicialmente, solo contaba con el servicio de medicina general y limitado a solo becados internos; hoy en día con el crecimiento de la institución, este servicio ha sido extendido a deporte y cultura, prestando servicio de medicina general, fisioterapia y ortopedia; con anexo en atención a alumnos en general y personal de la universidad que soliciten la atención.

La demanda ha sido asumida por 1 médico general, 1 ortopedista, 3 fisioterapeutas más un pasante; los cuales reciben a 40 ( $\pm 5$ ) pacientes al día, divididos entre las diferentes atenciones que brinda la clínica, véase la figura (12).



*Figura 12 Áreas de atención de la clínica universitaria*

**Fuente:** (Propia)

### 8.1.3. Entrevista

En una de las múltiples visitas a la clínica universitaria UNAN-Managua para la recaudación de información, se llevó a cabo una breve entrevista (ver anexo 1) con el fin de recaudar información específica y concreta, ésta la brinda el fisioterapeuta Lic. **Marlon Sánchez Mayorga**.

La tecnología aplicada a la medicina es una herramienta de gran poder, que en sus inicios ya había grandes avances para la detección de enfermedades, dar un diagnóstico y mejores resultados; hoy en día facilita el trabajo de los especialistas de las diferentes áreas, el desarrollo humano y sobre todo un reto para la actualización de los conocimientos.

Para las terapias a nivel distal de los dedos de la mano y el miembro superior se cuenta con rehabilitación, fortalecimiento, valoración, con el uso de dispositivos de frío o caliente y posteriormente masajes manuales.

El área de fisioterapia de la clínica usa las técnicas claves en el plan de tratamiento (Ver anexo 4):

- CHF
- Crioterapia
- TENS
- Ultrasonido
- Radiación infrarroja
- Parafina
- Maso terapia
- Tracción Cervical
- Terapia Ocupacional
- Mecanoterapia

En cuestión de herramientas y dispositivos se cuenta con lo básico para ejercer el trabajo, camillas de fisioterapia, manta de electro estimulación, pesas de mano, bicicleta terapias con compresas frío y caliente, también puedo incluir nuestras manos como herramientas, todas estas son utilizadas tanto para el miembro inferior y superior. Se podría decir que ciertos dispositivos ejecutan parte de la terapia de forma autónoma ya que no forman parte en ellas como en el electro estimulador.

Si se clasifican las lesiones más comunes se obtendrían: en miembros inferiores con un 60% y en superiores con 40%, siendo usual las luxaciones, lesiones musculares y falanges, fracturas leves, torceduras de ligamentos, hinchazón muscular. Se atienden al día 40 ( $\pm 5$ ) pacientes, de los cuales 30 son deportistas, 1-2 de cultura, 3 becados internos y el restante corresponde a personal de la universidad que gracias a solicitudes se les brinda consulta y tratamiento, en cuanto a no becados escasamente acuden a esta instalación, se podría decir que al año acuden de 2 a 3 personas.

Para la evaluación del paciente se requiere de 10 a 15 minutos, tiempo en el cual se le indica el día que le corresponde las sesiones según su patología, para la puesta en marcha son de 40 minutos a 1 hora de terapia para los primeros encuentros y de 30-45 minutos ya en recuperación, esto claro dependiendo de su afección.

El enfoque que se le pretende dar al dispositivo para ejercicios a nivel distal de los dedos de la mano para el área del miembro superior, es bastante bueno y útil, Sin embargo, se recomienda la asesoría de un especialista para la obtención de resultados satisfactorios.

Para la fundamentación más acertada del dispositivo se recurrió a la asesoría de la especialista fisioterapeuta **Msc. Rosa María Orosco Membreño** quien brindo una vista general y recomendaciones para el dispositivo.



*Figura 13 Área de estimulación eléctrica*

**Fuente:** (Fisiocampos.com)

La idea general del dispositivo es bastante acertada conforme a lo que se pretende, sin embargo, la estimulación muscular requiere en conjunto la estimulación del sistema nervioso, dado que el dispositivo es a nivel distal de los dedos, el estímulo eléctrico debe ser en el área palmar (figura 13), entre el ligamento carpiano palmar y el nervio mediano, en ese punto se obtendrá la contracción natural de los músculos.

Las diferentes patologías en su mayoría cuentan con un patrón similar donde presenta la dificultad a la hora de la expansión de los músculos; con el electro estimulación se puede contraer y el dispositivo puede encargarse del estiramiento progresivo, siendo de esta manera un ejercicio pasivo. Si el comportamiento del dispositivo realiza esta secuencia tendría un comportamiento similar al realizado manualmente en las sesiones de terapia.

Los ejercicios pueden ser personalizados para cada dedo y en conjunto exceptuando al dedo pulgar, ya que por su particular movimiento requiere su movimiento individual y solitario.

#### 8.1.4. Encuesta

A continuación, se mostrará el análisis de las encuestas realizadas a los deportistas/estudiantes (ver anexo 3), para conocer la necesidad del dispositivo; valoración de condiciones, aceptación de opinión de la muestra de 44 personas y demostrando los resultados a través de las siguientes figuras.

Después de haber aplicado encuestas a 44 deportistas amateur, correspondiente a 34% del género femenino y 66% del género masculino, véase figura (14), donde se denota la mayor participación de hombres a la hora de la encuesta. Por ende, los que más practican las distintas disciplinas en el recinto.

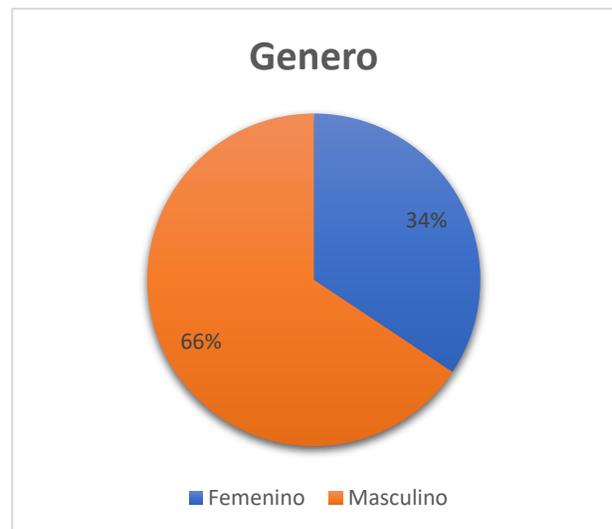


Figura 14 Grafico de género

Fuente: (Propia)

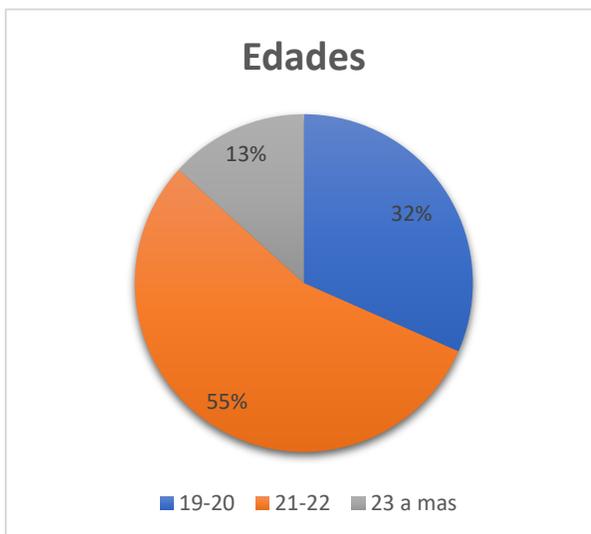


Figura 15 Grafico de Edades

Fuente: (Propia)

En la figura (15) se demuestra el rango de edades donde un 32% está entre los 19-20 años, 55% tienen entre 21-22 y 13% tienen de 23 a más, esta grafica denota las edades de adultos jóvenes en etapa universitaria, lo cual cobra relevancia a la hora de estandarizar medidas para estos.

Se obtuvo que entre los deportes más jugados tenemos el orden de: futbol 42%, beisbol 19%, voleibol 23%, baloncesto 10%, y un 6% de encuestados practicantes de otros deportes véase figura (16). Al ser tan variada la cantidad de deportes que se pueden practicar en la institución, desde este punto de la encuesta fácilmente podemos caer en cuenta de que las lesiones son comunes.

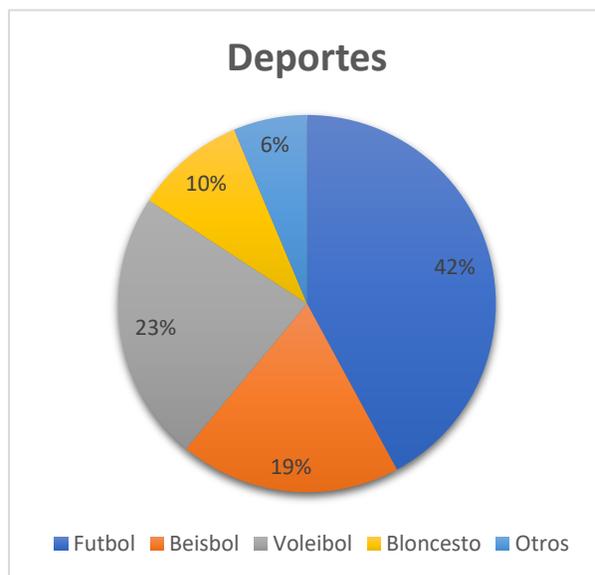


Figura 16 Deportes Practicados

Fuente: (Propia)

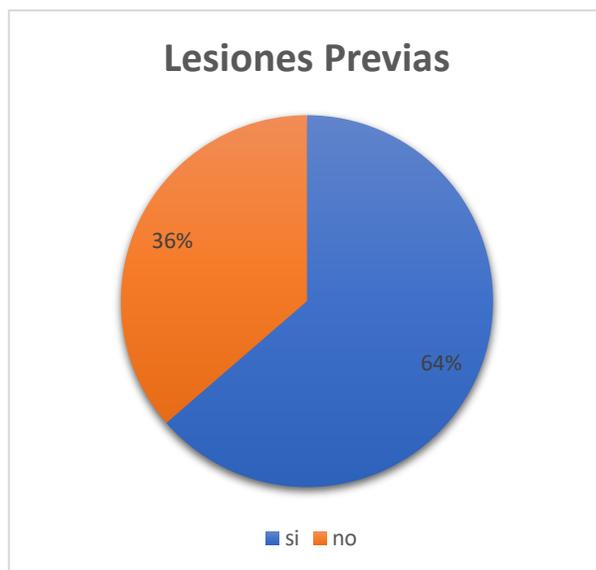


Figura 17 Grafica de lesiones Previas

Fuente: (Propia)

En la figura (17), nos da un resultado de que el 64% de deportistas ya vienen con antecedentes de lesiones previas al deporte las cuales los hacen más vulnerables a nuevas lesiones, ya que mencionaban que nunca fueron lesiones tratadas ya que no consideraban fuesen de gravedad, pero medicamente son antecedentes que tienen un valor para el cuerpo, y un 36% asegura no contar con lesiones previas.

Los deportistas al llegar a lesionarse a causa de su actividad además de contar internamente con la atención médica de la clínica universitaria, tienen la opción de recurrir a instituciones externas; la encuesta demostró que a pesar de las opciones, los deportistas acuden en su mayoría a la clínica universitaria en un 83%, pocos acuden al servicio de salud pública (hospital) 15% y un mínimo de 2% cuenta con las facilidades de acudir a una clínica especializada para tratar lesiones, véase figura (18).

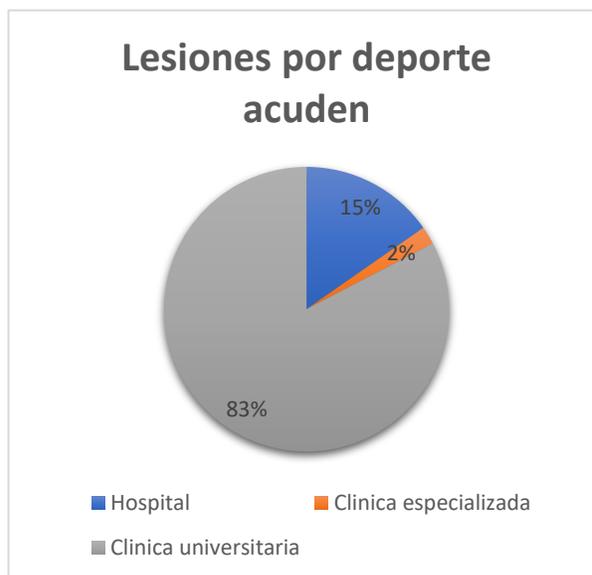


Figura 18 Asistencia por lesiones

Fuente: (Propia)



Figura 19 Lesiones durante la liga

Fuente: (Propia)

Al indagar un poco más en cuestión de lesiones, se obtuvo el resultado de que un deportista, en la duración de la liga y programación de juegos, 29% de personas llegan a lesionarse de 3 a 4 veces como máximo, siendo esta cantidad considerable tomando en cuenta las secuelas según la gravedad de la lesión, 71% tienen como mínimo 1 a 2 lesiones durante este periodo de actividad. Véase en figura (19).

Como deportistas activos durante el tiempo de inactividad de liga, acuden a entrenamientos donde practican sus actividades de manera más relajada, pero en ocasiones concurrentes llegan tener lesiones, donde el 4% sufren de 3 a 4 lesiones, 15% se lesionan de 1 a 2 veces y con la gran mayoría de 81% que no sufren de ninguna lesión durante las practicas, véase en la figura (20).



Figura 20 Lesiones durante prácticas

Fuente: (Propia)



Figura 21 Miembros de lesiones comunes

Fuente: (Propia)

Entre las lesiones más comunes que tienen los deportistas podemos ver en la figura (21), la respuesta de “otros” con un 37%, hace referencia a que las lesiones en el miembro superior son menores que en las del miembro inferior, lo que el profesional médico dio a conocer en la entrevista, quedando en 2do lugar los dedos con 30%, la muñeca con 22%, codo 2% y el brazo completo un 9%, cabe destacar que los encuestados que presentaron las afecciones en el miembro superior pertenecían a deportes donde manejan el balón con la mano (voleibol,

basquetbol) o donde ejercían fuerza del brazo (beisbol), el contacto durante el juego también juega un factor importante ya que al momento de una caída para cubrirse utilizan las manos.

Estos deportistas al estar lesionados y acudir a la clínica universitaria, según la patología o lesión que presenten, la mayoría con el 66% recibe 1 terapia semanal, un 30% recibe 2 terapias a la semana y el 4% reciben 3 terapias, ver figura (22), que mencionan es solo al inicio del tratamiento ya que las afecciones han sido de gravedad y propensos a empeorar o les impide alguna función básica.

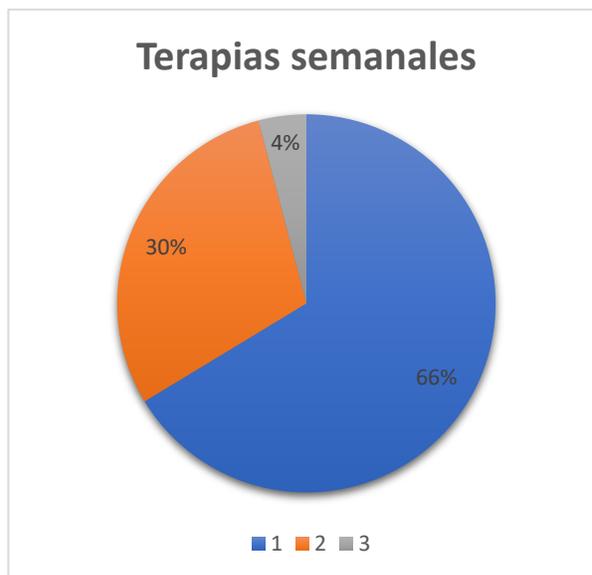


Figura 22 Terapias semanales

Fuente: (Propia)



Figura 23 Desarrollo Útil

Fuente: (Propia)

Al plantear la idea del diseño de un dispositivo de asistencia fisioterapéutica para el miembro superior, los encuestados reaccionaron con un 89% de aprobación, 11% dijo “tal vez” y un 0% dijo no, ver figura (23). Esto demuestra la aceptación de nuevas tecnologías para el desarrollo médico y un impacto positivo en los posibles usuarios; en la clínica universitaria no cuentan con dispositivos de esta clase, lo cual lo hace un proyecto de necesidad y valor agregado a la atención médica.

## 8.1. Diseño de dispositivo de rehabilitación utilizando la herramienta digital Tinkercad en formato 3D a modo de proyección de resultados del diseño.

En este apartado se abarca la demostración virtual del diseño y las características físicas con que contara el sistema, dimensiones y medidas.

### 8.2.1. Antropometría del sistema

Para las dimensiones del diseño se tiene que tomar en cuenta medidas promedio de la mano completa y dedos individualmente, entre hombre y mujer, véase en la figura (24) y tabla (6); además de las tallas de guante a utilizar, lo que viene a ser pertinente para los materiales de construcción y diseño mecánico donde se montara la estructura del dispositivo, con un margen de +- 5.

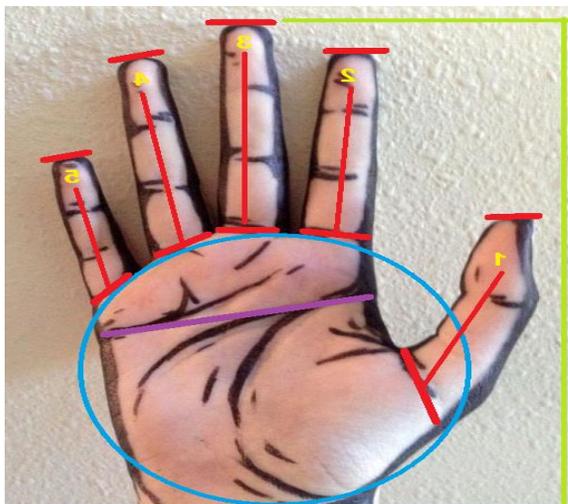


Figura 24 Antropometría de la mano

Fuente: (Sabes, 2002)

Tabla 6 Medidas estándar de la mano

Parámetro	Medidas
Puntos a Medir	-----
Talla	S/M 11-13.5 cm
Tamaño total	18.05/79 cm
1 pulgar	7.75 cm
2 índice	9.75 cm
3 medio	10.95 cm
4 anular	10.15 cm
5 meñique	8.15 cm

Fuente: (Propia)

La antropometría es tomada de la mano derecha y está dada en cm. Para adultos jóvenes entre las edades de 18-23 años las tallas de guantes estándar son S/M, según el material del mismo y sus propiedades elásticas; la medida que determina este tallaje es el ancho de la palma que es entre 11-13.5 cm.

## 8.2.2. Especificaciones del diseño

Para que el diseño cumpla con funciones reales, adaptadas a la necesidad que se desea asumir, debe cumplir con especificaciones físicas y de software que de manera eficaz asistan en las terapias de rehabilitación de miembro superior derecho con el menor percance posible. Ver figura 29.



Figura 25 Especificaciones de diseño

Fuente: (Propia)

### 8.2.2.1. Físicas

La estética además de dar la percepción de un buen diseño, proporciona la comodidad del paciente a la hora de la terapia, por lo cual se requiere:

- Guante elástico (traspirable), talla S/M expandible a L.
- Diseño compacto y ligero.
- Facilidad de uso.
- Dureza y rigidez óptima.
- Resistencia de uso.

Además, el sistema debe respetar el ángulo de flexión de cada dedo ver tabla 7.

*Tabla 7 Angulo de flexión*

Dedo	Angulo
Pulgar	87°
Índice	86°
Medio	91°
Anular	93°
Meñique	90°

Fuente: (slideshare, 2016)

### 8.2.2.2. Software

El microcontrolador a través de las entradas y salidas, maneja las acciones que realiza el mecanismo cumpliendo con:

- Mínimo de 2 instrucciones/siclos (instrucciones de software expandibles).
- Velocidad regulable.
- Facilidad de uso.
- Diseño compacto y eficiente.
- Electro estimulación regulable.
- Manejo vía Bluetooth.

### 8.2.3. Modelado 3D.

Con el uso del software gratuito online Tinkercad, para el diseño de nivel medio en 3D; se llevó a cabo el diseño del dispositivo de rehabilitación para el miembro superior, el que además se logró adjuntar el encapsulado del circuito, donde estarán los elementos electrónicos.

En la figura (26), se muestra el diseño del guante derecho desde la parte superior, con los detalles de las líneas elásticas (color gris) que proporcionan resistencia deformable y presión al diseño. En la figura (27) una vista del diseño desde la parte inferior donde se visualizan las líneas que contraerán los dedos hacia la parte interna de la mano con sus respectivos ángulos.

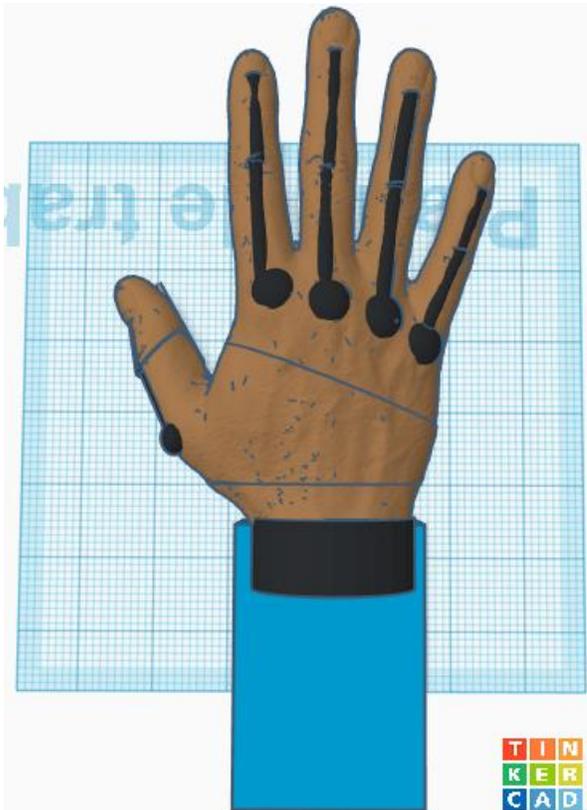


Figura 26 Parte superior del diseño

Fuente: (Propia)

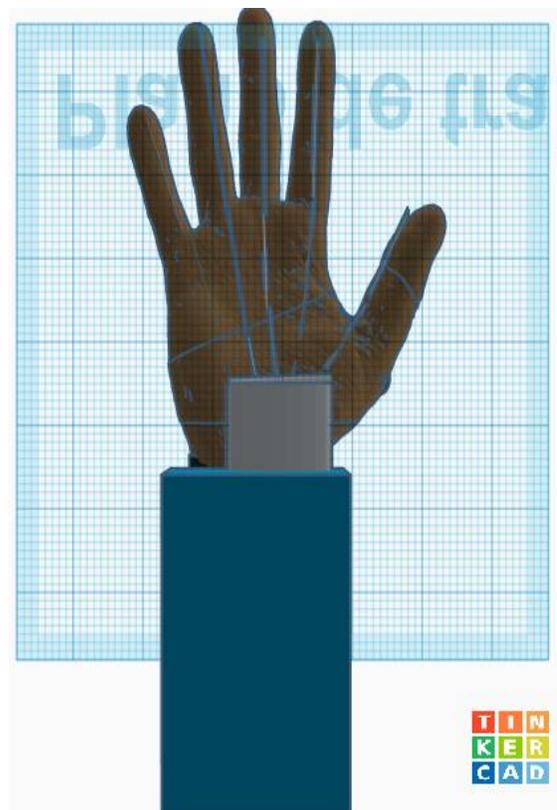
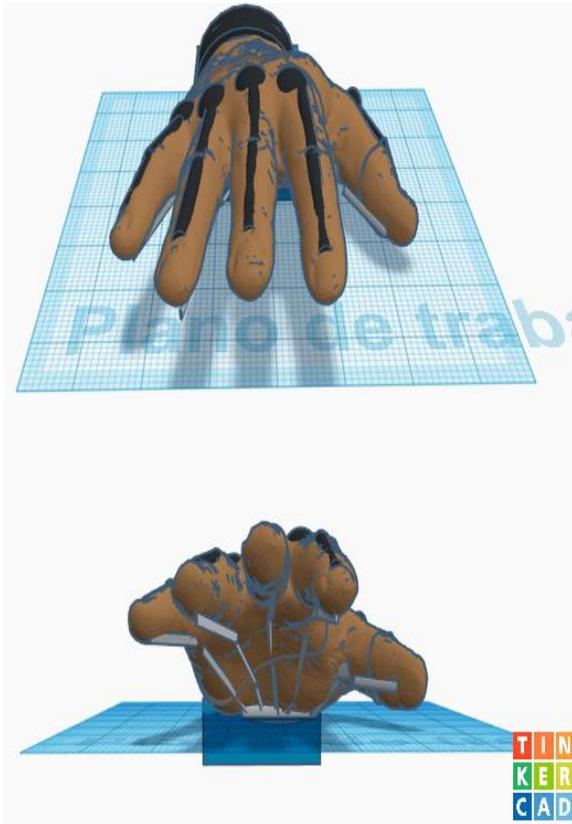


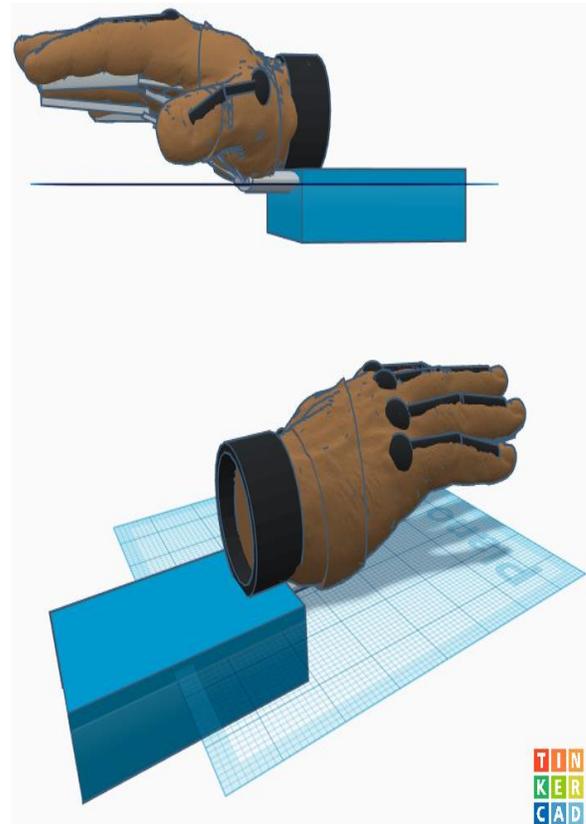
Figura 27 Parte inferior del diseño

Fuente: (Propia)



*Figura 28 Diseño 3D vista vertical*

**Fuente:** (Propia)



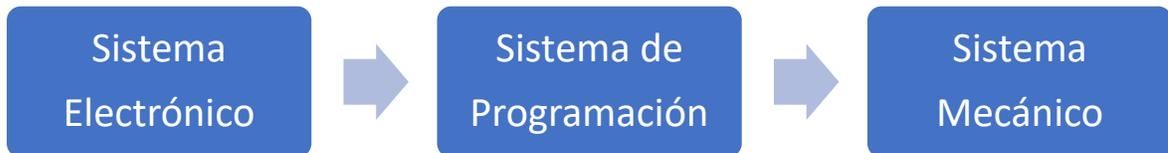
*Figura 29 Diseño 3D vista horizontal*

**Fuente:** (Propia)

En la figura (28 y 29), se aprecia una vista vertical y horizontal del diseño. El guante estará sujeto al encapsulado por la parte de la muñeca, donde permanecerá fijo el guante; cuando este en uso, el paciente debe relajar los músculos y no poner oposición para que el sistema trabaje correctamente. Este diseño abarca fielmente el objetivo de uso, especificaciones y funciones requeridas.

### 8.2.1. Diagrama de sistema

A continuación, se presentará el diagrama de bloques, véase en la figura (30), correspondiente a los diferentes sistemas que se integran al diseño del dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica para el miembro superior.



*Figura 30 Diagrama de bloques*

**Fuente:** (Propia)

### 8.2.2. Sistema Electrónico

En la figura (31), se muestra el esquema del microcontrolador Arduino Nano que almacena y ejecuta el código creado en el sistema de programación (figura 30), el esquema muestra los componentes internos de la placa para la comprensión de su funcionamiento electrónico interno y como realiza su trabajo.

El diseño electrónico del dispositivo de rehabilitación, el cual está conformado principalmente por el microcontrolador que presta las terminales digitales de entrada y salida para la interconexión de los componentes para la realización de su función.



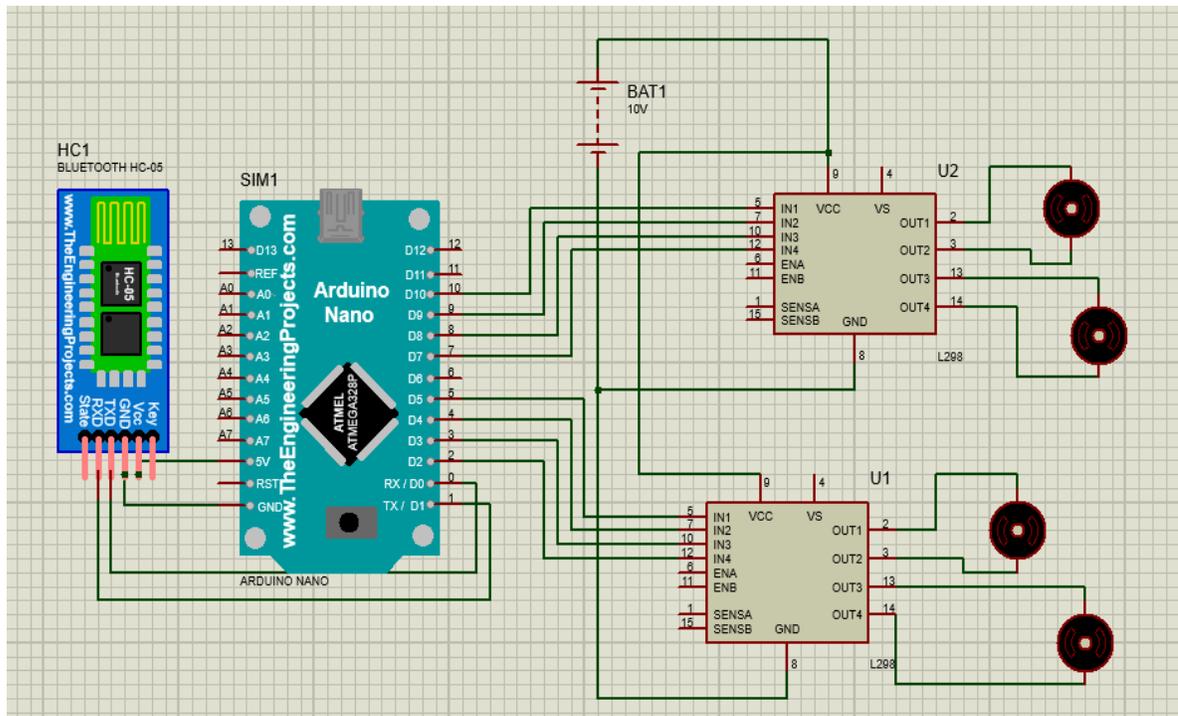


Figura 32 Diagrama Electrónico

Fuente: (Propia)

Para el controlador principal del dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano tenemos un Arduino Nano que cuenta con 14 pines digitales, de las cuales se utilizan las 10, 9, 8 y 7 para el primer módulo L298N o puente H conocido popularmente, a las terminales 5, 7, 10 y 12 respectivamente, esto controla los servo motores proporcionándoles la corriente necesaria además de permitir el giro de los motores en ambos sentidos (contracción y distensión); así mismo las salidas 5, 4, 3 y 2 del Arduino se conecta al segundo L298N y a las terminales 5, 7, 10 y 12 respectivamente. El puente H requiere alimentaciones independientes a través de las entradas 9 y 8. VCC, GND y los pines 0 y 1 conectan el módulo bluetooth, el cual facilitara el funcionamiento del dispositivo a través de una aplicación móvil.

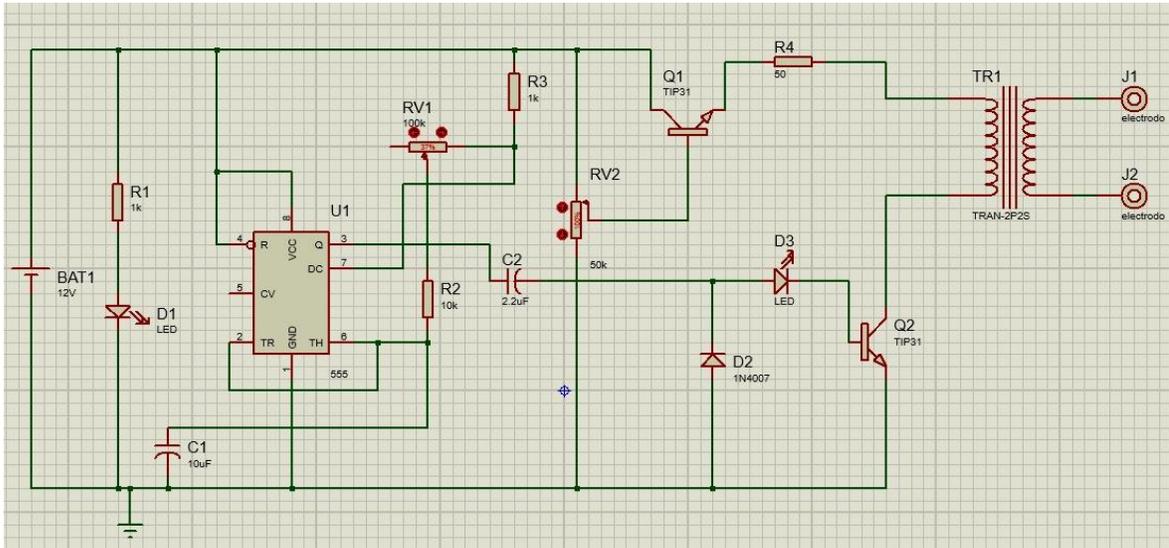


Figura 33 Circuito Electro estimulador

Fuente: (Propia)

El circuito correspondiente al electro estimulador, es controlado por el chip LM555C y su función dentro del circuito es la generación de pulsos en un tiempo determinado el cual está regulado con un potenciómetro que controla la potencia del pulso a través de un transformador de 12 V, con una corriente de entrada de 30 mA y la salida a 2 electrodos con que son colocados en puntos estratégicos de la palma de la mano y muñeca para la electro estimulación de los nervios entre las frecuencias de 1-50 Hz, para el uso combinado del guante se recomienda variar entre los 1-5 Hz, este sistema al contar con un transformador puede llegar a alcanzar temperaturas de 30 a 40° C, para más información ver anexo #8.

Período de nivel alto

$$T1 = 0.693(Rv1 + R2)C1$$

$$T1 = 0.693(100K + 10K)10\mu f$$

$$T1 = 0.7623 \text{ ms}$$

Período de nivel bajo

$$T2 = 0.693(R2)(C1)$$

$$T2 = 0.693(10K)(10\mu f)$$

$$T2 = 0.0693$$

$$F = \frac{1.44}{(Rv1+R2)C1} \quad Fmax = \frac{1.44}{(0k+10k)(10\mu f)} = 14.4 \text{ hz} \quad Fmim = \frac{1.44}{(100k+10k)(10\mu f)} = 0.90 \text{ hz}$$

### 8.2.3. Sistema de programación

En el sistema de programación se requiere un diagrama que explique de forma sencilla y directa el funcionamiento interno de los componentes, decisiones y funciones a realizar. Los micros controladores por lo general se programan a través de lenguaje ensamblador o C, en este caso se realiza en un lenguaje basado en C++.

#### 8.2.3.1. Diagrama Lógico

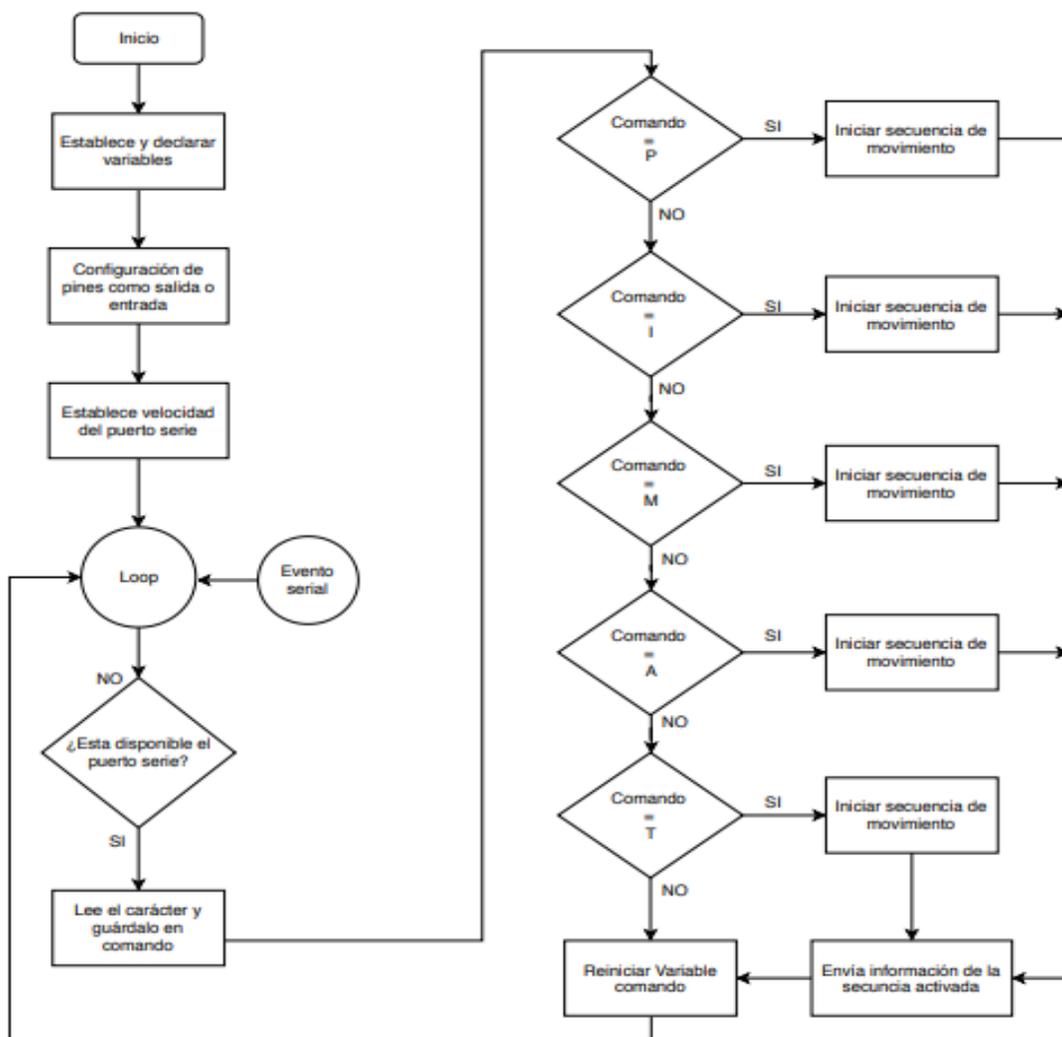


Figura 34 Diagrama Lógico del Arduino

Fuente: (Propia)

En la figura (34), en primera instancia se tiene el Inicio (en este punto el sistema ya está siendo alimentado), se establecen las variables y se identifica los pines utilizados de la placa Arduino, establece la velocidad del puerto serie y entra a un loop que actúa de comparador o bucle que establece condiciones: si el puerto serie no está disponible este no continúa hasta que si esté disponible y lea el comando, si no lee ningún comando, este reinicia la variable.

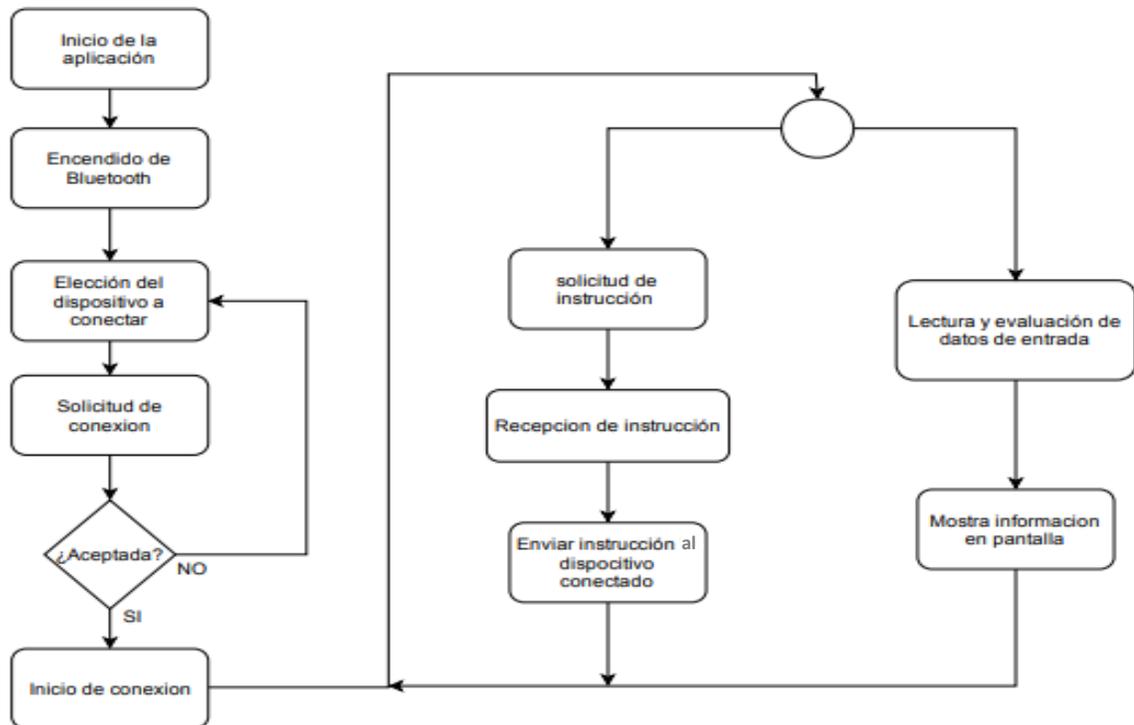


Figura 35 Diagrama Lógico de aplicación Android

Fuente: (Propia)

En la figura 35 se muestra el diagrama lógico de aplicación Android, este muestra el funcionamiento de la programación que controla el dispositivo de rehabilitación. En él inicio, emparejamos la aplicación con el módulo bluetooth cuando la conexión este establecida se selecciona la instrucción a realizar, este evalúa y se encarga de la recepción la instrucción, si el proceso es correcto este se ejecuta, lo cual se traduce a la activación de los motores correspondientes y movimiento de contracción y aducción. Además, en la figura 36 se muestra la interfaz de la app Android controladora del dispositivo.



Figura 36 Interfaz app Android

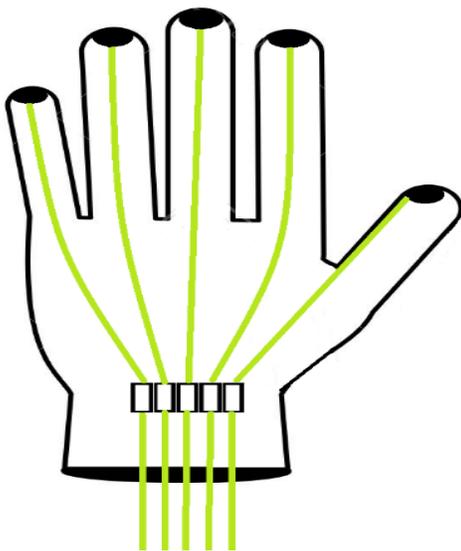
Fuente: (Propia)

## 8.2.4. Sistema Mecánico

En esta parte se detalla el mecanismo interno que actuara como tendones que tensorán y contraerán las extremidades del miembro superior; dándole al dispositivo la tensión y especialidad angular natural de cada dedo.

### 8.2.4.1. Diseño de mecanismo

Para el mecanismo se utilizara un guante de tela rígida modificada con canales ocultos en el interior de la palma de la mano derecha, los cuales actuaran de poleas simples (móviles); al accionar los motores contraerán las poleas, por ende las extremidades del dispositivo también; cabe destacar la particularidad del dedo pulgar que su polea está ubicada en la parte interna del mismo, véase en la figura (37), esto por el movimiento particular con el que cuenta, ya que su actividad articular se desvía hacia la parte interna de la palma; cada polea se conecta a la terminal móvil de su correspondiente servo motor y configuración angular.



*Figura 37 Mecanismo de Poleas*

Fuente: (Propia)

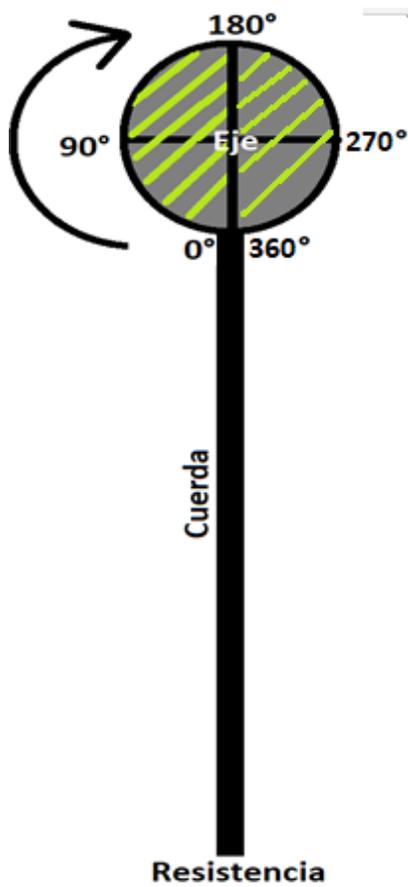


*Figura 38 Mecanismo Elástico*

Fuente: (Propia)

En la figura (38), tenemos un sistema de suspensión que le agregara rigidez deformable al sistema como parte de tención, que al ser contratado haga contra fuerza para regresar a su posición inicial, además de la tela semi rígida para mantener la estructura del dispositivo.

#### 8.2.4.2. Mecanismo de poleas



El sistema de mecanismo simple conduce al descubrir y conocer de su funcionamiento ampliando el rol de la física y otros campos de la ciencia y tecnología. El sistema de polea utilizado está constituido por un eje fijo que ejerce la fuerza para vencer de forma mecánica, cómoda y eficiente la resistencia que se ejerce a la cuerda al ser contraída 360°, ver figura 39. Las especificaciones del motor nos proporcionan los datos constantes de:

- **Angulo del eje:** 360°
- **Fuerza del eje:** 1.9 kgf.cm
- **Velocidad del eje:** 0.1 s/60 °

*Figura 39 Polea simple*

**Fuente:** (Propia)

Estas constantes del mecanismo están enfocadas en el motor, sin embargo, la resistencia que requiere y de la cual también depende el mecanismo es dado por el paciente, según la investopedia RESEARCH REPORT normaliza la fuerza/resistencia de la mano

con los valores de 1,02 – 1,05 N. Al ser un mecanismo de polea simple obtenemos la fórmula:  $F=R$  (Fuerza = Resistencia). Pero para el óptimo funcionamiento del mecanismo se requiere de la condición  $F>R$ , por lo tanto, se recomienda mantener el musculo relajado, dando una resistencia mínima al sistema.

### 8.2.4.3. Mecanismo de engranes

En la figura (40) se muestra un sistema de engranes simple, conformado por dos ruedas dentadas donde la mayor se denomina “corona” y la menor “piñón”, estas se encargan de transmitir potencia de un mecanismo a otro. De este mecanismo simple podemos determinar las ecuaciones de relación de transmisión del mecanismo a través de la formula ya establecida:

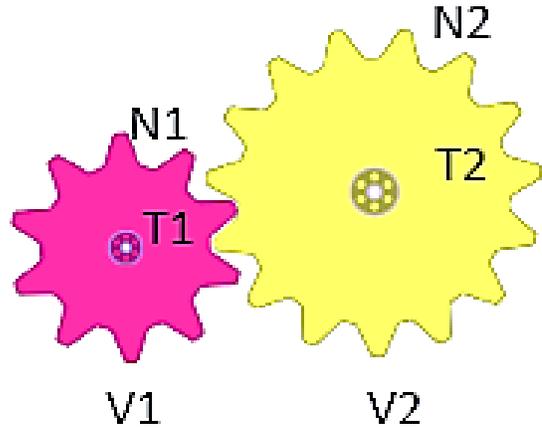


Figura 40 Sistema de engranes simple

Fuente: (Propia)

$$\frac{N2}{N1} = \frac{T2}{T1} = \frac{V1}{V2} = R$$

$$T2 \cdot N2 = T1 \cdot N1$$

Donde:

**N** = Numero de engrane

**T** = Torque (g)

**V** = velocidad de giro (rpm)

**R** = relación de transmisión

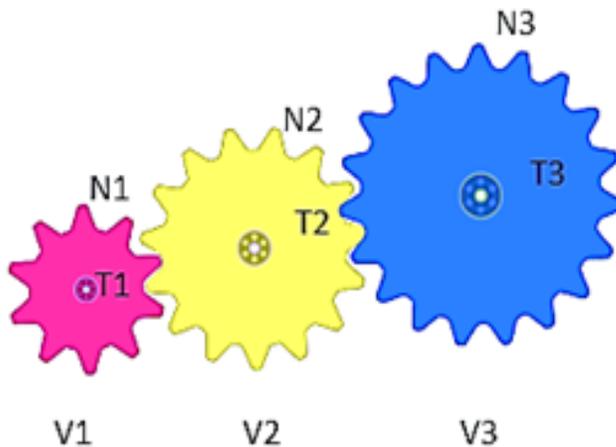


Figura 41 Mecanismo de engranes del sistema

Fuente: (Propia)

Los motores utilizados tienen un sistema de engranajes que hacen una transmisión de movimientos el cual reduce la velocidad del giro y aumenta la fuerza (Torque). En la figura (41) se muestra el sistema que se utiliza de 3 engranes donde el pequeño es el engrane motriz y los otros dos son conducidos.

Con la ecuación básica de engranes podemos determinar el modelo de tren de 3 engranajes utilizado, obteniendo la relación del mecanismo con respecto al torque:

$$T1 \left( \frac{N2}{N1} \right) T2 \left( \frac{N3}{N2} \right) T3$$

Donde al igualar a cero (0) y despejar la variable T3 obtenemos:

$$T3 = T1 \frac{N2 \cdot N3}{N1 \cdot N2}$$

Al reescribir la ecuación con respecto a la velocidad

$$V3 = V1 \frac{N2 \cdot N3}{N1 \cdot N2}$$

### 8.2.5. Presupuesto

En la tabla (8), se presenta un análisis de los costos individuales y totales de los componentes involucrados en el sistema electrónico y mecánico para la construcción del dispositivo; una suma total de costos, Cabe mencionar que los elementos tienen una variante en su costo según el fabricante y distribuidor.

*Tabla 8 Presupuesto*

Costo Electrónico			Costo Mecánico		
Materiales	Cantidad	Costo\$	Material	Cantidad	Costo\$
Motor SG90	4	18	Guante	1 unidad	1.5
Módulo L298	2	14.25	Polea	2 mts	0.20
Módulo bluetooth	1	5.80	Elástico	1 mts	0.40
Arduino Nano	1	5.28	Electrodo	4	2
Baquelita	2	3.50	<b>Suma de costos</b>		
Transformador	1	3	<b>Costo Electrónico</b>		\$ 55.13
Jumpers macho	1 paquete	2.70	<b>Costo mecánico</b>		\$ 4.1
TP31C	2	1	<b>Mano de obra</b>		\$ 20
Potenciómetro	1	0.40	<b>Encapsulación</b>		\$ 3
LM555C	1	0.30	<b>Total</b>		\$ 82.23
Capacitores	2	0.20			
Switch	1	0.20			
Resistencias	3	0.20			
Led	2	0.20			
Diodo	1	0.10			

Fuente: (Propia)

### 8.3. Construcción de dispositivo de rehabilitación a nivel distal de los dedos de la mano para la clínica universitaria UNAN-Managua.

La culminación de la investigación es la construcción y aplicación del dispositivo de rehabilitación a nivel distal de los dedos de la mano con electro estimulación, el cual es aplicado y dirigido a pacientes de la clínica universitaria UNAN-Managua.

#### 8.3.1. Construcción del dispositivo.



*Figura 42 Montaje de Circuito*

**Fuente:** (Propia)



*Figura 43 Guante y circuito*

**Fuente:** (Propia)

El diseño propuesto en el segundo objetivo a través de Tinkercad fue puesta en acción y se obtuvo el modelo y dimensiones del guante; los diseños electrónicos de proteus fueron implementados e implementados justo igual a la simulación obteniendo los resultados esperados y necesarios, cumpliendo así con su funcionamiento como dispositivo de rehabilitación, además se hizo la visita a la clínica universitaria para la primera prueba y aplicación.

### 8.3.2 Aplicación

Para la aplicación del dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria se solicitó una carta para el ingreso y la solicitud de tiempo de los especialistas para la aplicación y primeras impresiones del dispositivo (ver anexo 6)



*Figura 44 Aplicación del dispositivo*

**Fuente:** (Propia)

La primera etapa (ver figura 45) muestra un funcionamiento básico del sistema, pero totalmente funcional, el encapsulado será totalmente transparente con fines de demostración de funcionamiento y el aprecio de los componentes electrónicos y mecanismo en funcionamiento.



*Figura 45 Primera etapa del dispositivo*

**Fuente:** (Propia)



*Figura 46 lugares estratégicos del electro estimulación*

**Fuente:** (Propia)



*Figura 47 Electrodo s posicionados*

**Fuente:** (Propia)

En la figura 46 y 47 , se aprecia la ubicación estratégica de los electrodos para la electro estimulación de los nervios de toda la mano, con la función de aducción y contracción de los dedos de la mano combinados se abarca más patologías de las que se pretendía, el funcionamiento y el uso del dispositivo fue bastante aceptado y comprendido por parte del especialista, el cual a pesar de no estar en su fase final en estética y aplicación, pudo manipular el dispositivo, recalcando su funcionamiento adecuado y primeras impresiones además de pequeñas sugerencias para la optimización.

## **IX. Conclusión**

Se abordó el tema “Diseño y construcción de dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria UNAN-Managua”, cumpliendo con los objetivos planteados y logrando la aplicación del dispositivo.

Además, se realizó un diagnóstico de las instalaciones y dispositivos con los que cuentan en la clínica, teniendo como resultado las necesidades y problemáticas que para resolverlas se tomaron en cuenta en el diseño y construcción del dispositivo, contando con la asesoría y apoyo de los profesionales, logrando así el cumplimiento del primer objetivo.

Se realizó un diseño del dispositivo a través de Tinkercad, basado en la previa investigación médica-anatómica, donde se determinó los ángulos de flexión de cada dedo, afecciones y patología comunes; donde se afirmó nuevamente la necesidad en la clínica y de los pacientes frecuentes de la misma.

Se analizaron los diseños y dispositivos análogos y electrónicos ya existentes donde se tomaron los aspectos funcionales formales y estructurales más relevantes y de mayor éxito en resultados para el diseño y construcción. Dando con un dispositivo con un valor menor de \$100 el cual cuenta con una multifuncionalidad en el tratamiento de múltiples patologías y un tamaño compacto.

Como último objetivo se construyó el dispositivo de rehabilitación utilizando el modelo 3D realizado en Tinkercad, además fue aplicado en una demostración con el profesional fisioterapeuta para la evaluación general del dispositivo, dando como resultado la aprobación médica con respecto a su función y las diferentes patologías que abarcaría el dispositivo.

## **X. Recomendaciones**

### **A la clínica universitaria UNAN-Managua**

- Solicitar la integración de nuevas tecnologías para la el área fisioterapéutica o el desarrollo de las mismas como valor agregado de la institución.

### **Facultad de ciencias e ingenierías**

- Promover el desarrollo de nuevas tecnologías de uso multidisciplinar dentro de las carreras.
- Crear cursos que fomenten la competencia e innovación para resolver problemáticas de actualidad.

### **A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua.**

- Invertir en el sector salud de la universidad que beneficia a toda la comunidad universitaria en lo que abarca el área de atención de las clínicas.
- Fortalecer la colaboración interdisciplinar de las diferentes carreras para el desarrollo profesional e institucional.
- Crear un proyecto de ampliación de las instalaciones de la clínica universitaria de acuerdo a la demanda de pacientes.

## XI. Bibliografía

- Alvarez, L. B., & Lario, B. Á. (2003). *Artritis reumatoide*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=216753>
- Arce, G. (2005). *Ortesis de miembros superiores. Clasificación, funciones, prototipos, características, Indicaciones*. Recuperado de [http://arcesw.com/o\\_m\\_s.pdf](http://arcesw.com/o_m_s.pdf).
- Burgos, C. Q., y Albán, O. A. (2010). *Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres*. Popayán, enero del 2010. Tesis de maestría. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/477/47715443001.pdf>
- Castro, C. I. (2005). *Lesiones de la mano y la muñeca*. Editorial Paidotribo. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lb0VZ8ZpzdMC&>
- Cho, KJ *Evaluación del sistema impulsado por tendones antagonistas para SNU Exo-Glove*. En Actas de la 9na Conferencia Internacional de 2012 sobre Robots ubicuos e Inteligencia Ambiental. Recuperado de [Google Scholar](#)
- Cho, KJ *Análisis de las fuerzas en las articulaciones de los dedos por una mano robótica portátil sin articulaciones, SNU Exo-Glove*. En Investigación convergente clínica y de ingeniería sobre neurorrehabilitación. Recuperado de [Google Scholar](#)
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas* (5a. McGraw Hill México). Recuperado de [https://www.academia.edu/36699966/M%C3%A1quinas\\_El%C3%A9ctricas\\_5ta\\_Edici%C3%B3n\\_Stephen\\_J.\\_Chapman\\_FREELIBROS.ORG](https://www.academia.edu/36699966/M%C3%A1quinas_El%C3%A9ctricas_5ta_Edici%C3%B3n_Stephen_J._Chapman_FREELIBROS.ORG)

De Robótica, G. (2012). Introdução ao Arduino. *Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Computação*. Recuperado de [Google Scholar](#)

Espinosa JS, Sánchez LC (1999). *Afecciones Médicas en Fisioterapia*. Málaga: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga. Recuperado de <http://www.ugr.es/~ccsalud/doc/GuiaFisio-UGR.pdf>

Kapandji IA (1999). Cuadernos de Fisiología Articular. Tomo I. *Miembro Superior*. 5.<sup>a</sup> ed. Madrid: Médica Panamericana. Recuperado de [https://www.academia.edu/27710113/Kapandji\\_1\\_miembro\\_superior](https://www.academia.edu/27710113/Kapandji_1_miembro_superior)

Kelly, J. F. (2014). *3D Modeling and Printing with Tinkercad: Create and Print Your Own 3D Models*. Recuperado de <https://books.google.es/books?id=-y2tAwAAQBAJ&printsec>

Le Veau, B., Williams, M.; Lissner, H.R. (1983) *Biomecánica del movimiento humano*. Primera Edición, Editorial Trillas, México.

López Belloso, J. Á. (2017). *Diseño mecánico y primer prototipo de un robot de rehabilitación de mano (Exohand Festo)*. Tesis para optar al grado de ingeniería electrónica industrial y automática. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/23521>

Perfetti C, Ghedina R y Jiménez D (1999). *El ejercicio terapéutico cognoscitivo para la reeducación motora del hemipléjico adulto*. Barcelona: Edikamed. Recuperado de <https://www.ucam.edu/sites/default/files/revista-fisio/imagenes-pdfs-revistas/volumen-4/vol.4-no1-art.5.pdf>

Picard Y, Lion J, Le Guet JL,. Rééducation sensitivomotrice. Tchenique de Perfetti. Encyc Méd Chir (Elsevier, Paris-france), Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle,

Sociedad Española de Rehabilitación, & Medicina Física. (2006). *Manual SERMEF de rehabilitación y medicina física*. Ed. Médica Panamericana. Recuperado de <https://www.medicapanamericana.com/Libros/Libro/4030/Manual-SERMEF-de-Rehabilitacion-y-Medicina-Fisica.html>

Shigley, E, J., Uicker, JR., (1983). *Teoría de máquinas y mecanismos*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/bibianaflores1/teoria-de-maquinas-y-mecanismo-shigley-44396150>

Tibaduiza, D., y Grosso, J. M. (2009). Diseño de un exoesqueleto mecatrónico de brazo basado en screws y robots paralelos. In 2do Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/22e0/1c806c9ac4e31be36b867b1d286478ad7bf1.pdf>

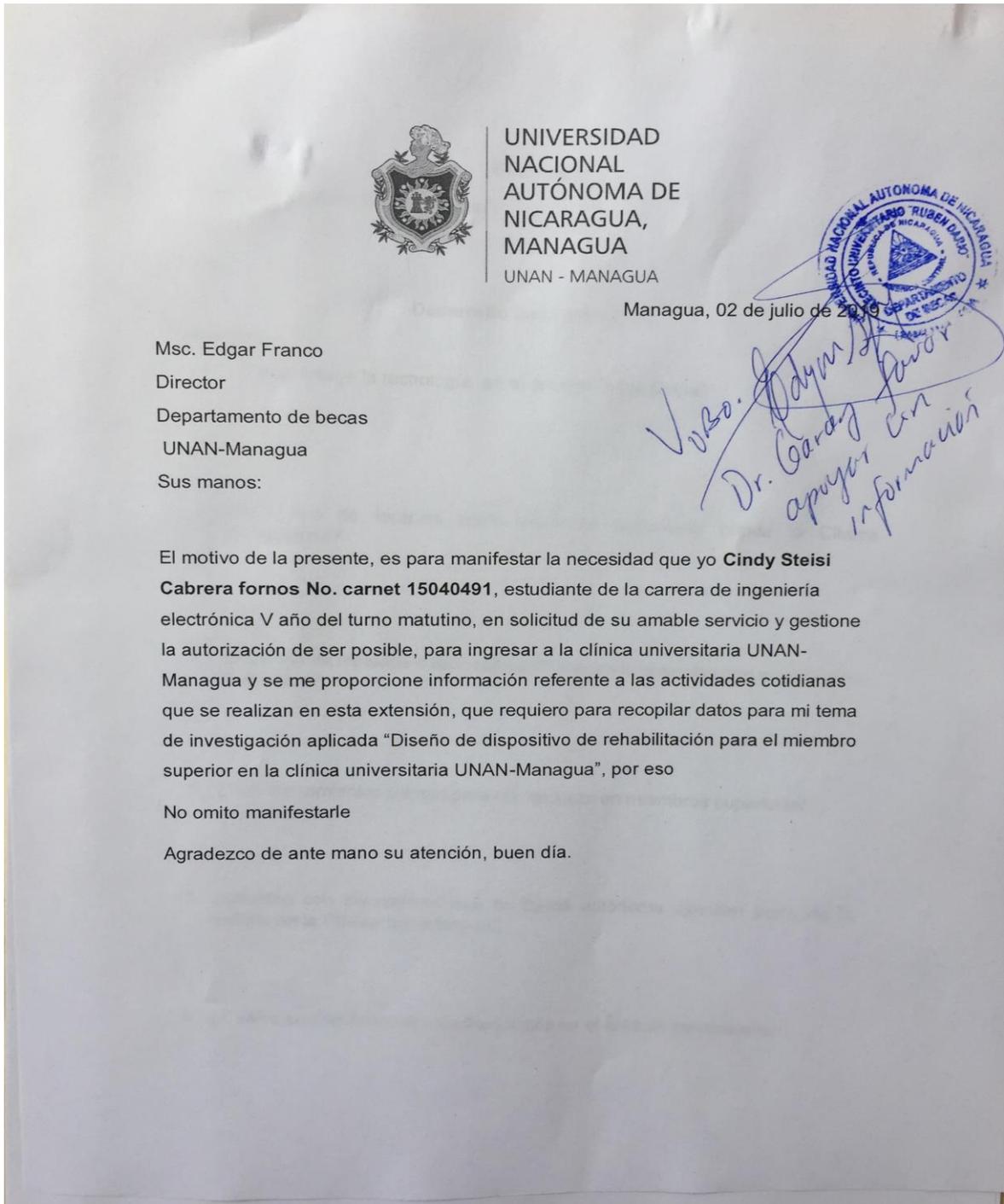
Vazquez, E., COSTA, J., y CABALLERO, B. (2002). *Terminales nerviosas sensitivas en los planos extensores de los dedos de la mano*. Recuperado de [https://www.aaot.org.ar/revista/2007/n1\\_vol72/art10.pdf](https://www.aaot.org.ar/revista/2007/n1_vol72/art10.pdf)

Yun, S. S, Kang, B. B, y Cho, K. J. (2017). *Exo-Glove PM: an easily customizable modularized pneumatic assistive glove*. IEEE Robotics and Automation Letters. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7872427>

## XII. Anexos

**Anexo 1:** Carta de solicitud de permiso para investigación y entrevista en la clínica universitaria UNAN-Managua.

**Fuente:** Departamento de becas.



 UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

Managua, 02 de julio de 2019

Msc. Edgar Franco  
Director  
Departamento de becas  
UNAN-Managua  
Sus manos:

*Visto. Dr. Carlos Fornos  
apoyar con información*

El motivo de la presente, es para manifestar la necesidad que yo **Cindy Steisi Cabrera Fornos No. carnet 15040491**, estudiante de la carrera de ingeniería electrónica V año del turno matutino, en solicitud de su amable servicio y gestione la autorización de ser posible, para ingresar a la clínica universitaria UNAN-Managua y se me proporcione información referente a las actividades cotidianas que se realizan en esta extensión, que requiero para recopilar datos para mi tema de investigación aplicada "Diseño de dispositivo de rehabilitación para el miembro superior en la clínica universitaria UNAN-Managua", por eso

No omito manifestarle

Agradezco de ante mano su atención, buen día.

## **Anexo 2: Entrevista**

**Fuente:** Propia

“Clínica Universitaria UNAN-Magua”.

Nombre:

Cargo:

### **Desarrollo de la entrevista**

#### **Preguntas:**

1. ¿Cómo influye la tecnología en el área de la medicina?
2. ¿Qué tipo de terapias para miembros superiores brinda la Clínica universitaria?
3. ¿Qué tipo de métodos o técnicas se utilizan en la rehabilitación en miembros superiores?
4. ¿Qué herramientas utilizan para dar terapias en miembros superiores?
5. ¿cuentan con dispositivos que de forma autónoma ejecuten parte de la terapia en la Clínica Universitaria?
6. ¿Cuáles son las lesiones más frecuentes en el área de rehabilitación?

7. ¿Cuántos pacientes que acuden a la clínica sufren de alguna deficiencia o lesiones en los miembros superiores?
  
8. ¿Qué tipos de patologías se pueden abarcar con el desarrollo de un dispositivo de rehabilitación para el miembro superior?
  
9. ¿Quiénes son los más afectados con estas patologías?
  
10. ¿Cuánto es el tiempo promedio de un paciente en rehabilitarse dependiendo de su patología?
  
11. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que se podría encontrar al aplicar un dispositivo de rehabilitación en miembros superiores?
  
12. Recomendaciones para el diseño:

### **Anexo 3: Encuesta**

**Fuente:** Propia

Deportistas de la UNAN-Managua

#### **Desarrollo de encuesta**

##### **1. ¿Cuál es su género?**

- Femenino
- Masculino

##### **2. ¿Cuál es su edad?**

- 17-18
- 19-20
- 21-22
- 23 o mas

##### **3. ¿Qué deporte practicas?**

- Baloncesto
- Beisbol
- Futbol
- Voleibol
- Otros

##### **4. ¿Cuenta con lesiones en los miembros superiores previas al deporte?**

- Si
- No

##### **5. En caso de lesiones dentro de la universidad acude a:**

- Hospital
- Clínica fisioterapéutica
- Clínica universitaria

**6. ¿Cuántas veces te lesionas durante las ligas?**

- 0
- 1-2
- 3-4
- 5-6
- Más de 7

**7. ¿Cuántas veces te lesionas en las prácticas?**

- 0
- 1-2
- 3-4
- 5-6

**8. ¿Qué miembros es que se lesiona?**

- Brazo
- Codo
- Mano
- Dedos
- Otro

**9. ¿Cuántas sesiones de terapia recibes ala semana?**

- 1
- 2
- 3
- 4
- Más de 5

**10. ¿Considera útil desarrollo de un dispositivo de rehabilitación para miembros superiores?**

- Si
- No
- Tal vez

**Anexo 4:** Tarjeta de registro para sesiones de terapia.

**Fuente:** Clínica Universitaria

### Recomendaciones

1. Se iniciará la atención a las 8:30 a.m. y se finalizará a las 12:00 m.d. y luego de 1:30 p.m. a 04:00 p.m.
2. Se atenderá de acuerdo al orden de llegada.
3. Presentarse correctamente vestido, aseado, en tiempo y forma.
4. Cumplir con las indicaciones del Fisioterapeuta.
5. No realizar actos de indisciplina e irrespeto.
6. Guardar silencio.
7. Conservar el aseo del local.
8. Al cumplir con las sesiones indicadas se deberá entregar la tarjeta al personal de Fisioerapia.

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua  
UNAN-MANAGUA

**Clínica Universitaria - UNAN-MANAGUA**



## Fisioterapia

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
 Sexo: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_ Talla: \_\_\_\_\_  
 Diagnóstico: \_\_\_\_\_  
 Sesiones: \_\_\_\_\_ Dias: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Lic. ~~Francisco~~ Cabrera  
 Lic. Frances Fletes  
 Lic. Gema Ruiz  
 Lic. Marlon Sánchez

N° 0160



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

### Plan de tratamiento Fisioterapéutico

CHC	
Crioterapia	
TENS	
Ultrasonido	
Radiación Infraroja	
Parafina	
Masoterapia	
Kinesiología	
Tracción Cervical	
Terapia Ocupacional	
Mecanoterapia	
Otros	

N°	Fecha	Firma
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

Anexo 5: Clínica universitaria UNAN-Managua.

Fuente: Propia



Anexo 6: Carta de solicitud de pruebas en la clínica universitaria UNAN-Managua

Fuente: Propia



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

Managua, 14 noviembre 2019

*Uso de Edgar Franco*  
*Msc. Martin Atencioles*

**Msc. Edgar Franco**  
**Director**  
**Departamento de becas**  
**Unan Managua**  
**Sus manos:**

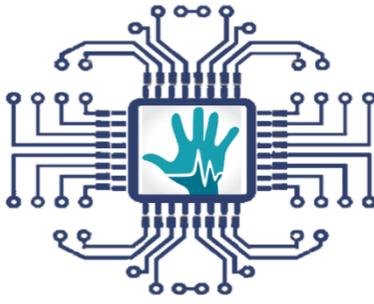
El motivo de la presente es para manifestar la necesidad que yo **Cindy Steisi Cabrera Fornos No.15040491** y **Max Anthony Escobar Mejía No.15047179**, estudiantes de la carrera Ing. Electrónica 5 año del turno matutino en solicitud de su amable servicio y gestione la autorización de ser posible, para ingresar a la clínica universitaria unan Managua para la realización de pruebas correspondientes a **“diseño y construcción de un dispositivo de rehabilitación fisioterapéutica a nivel distal de los dedos de la mano en la clínica universitaria Unan Managua”**, para la culminación del proyecto de tesis.

No omito manifestarle mi agradecimiento de antemano por su atención, buen día.

-----  
Msc. Edgar Franco

Anexo 7: Manual de usuario del dispositivo en modo brochur.

Fuente: Propia

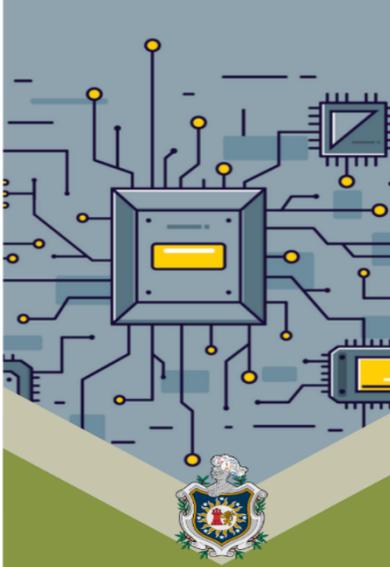


El uso de este dispositivo es para pacientes en etapa de recuperacion. El paciente deve relajar el musculo totalmente. El dispositivo requiere mantenimiento periodico 1 vez cada 6 meses.



**Contacto**

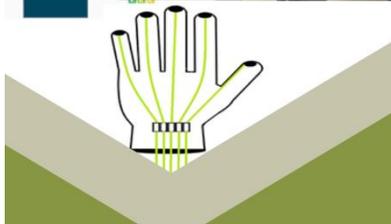
Staisicafor23@hotmail.com  
Escobaranthony@gmail.com  
+50582362119 C



**MANUAL DE USUARIO**

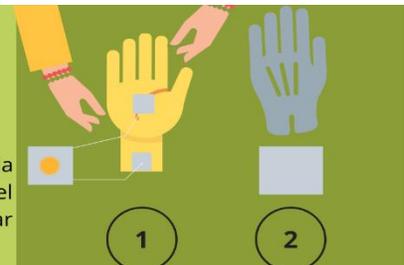


**Dispositivo de rehabilitación muscular y electro estimulante**



Después del diagnostico profesional:

- 1 Con la mano palma arriba, colocar los electrodos en los puntos estimulantes.
- 2 De la misma forma introducir la mano en el guante, fijando el dispositivo al ante brazo y ajustar el tamaño de ser necesario.



Modulo Bluetooth H5



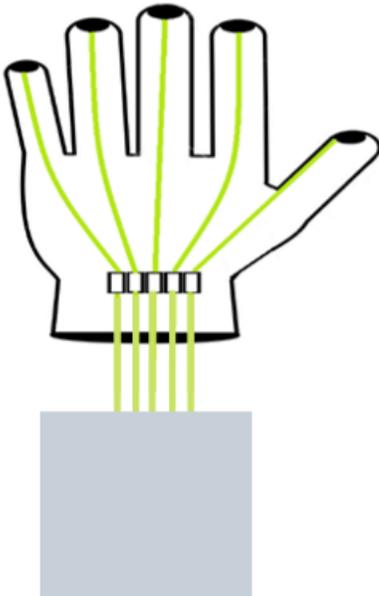
- 3 Al conetar el guante ala corriente aparecera una señal de bluetooth de la cual travez de la app movil se accedera al menu de ejercicios

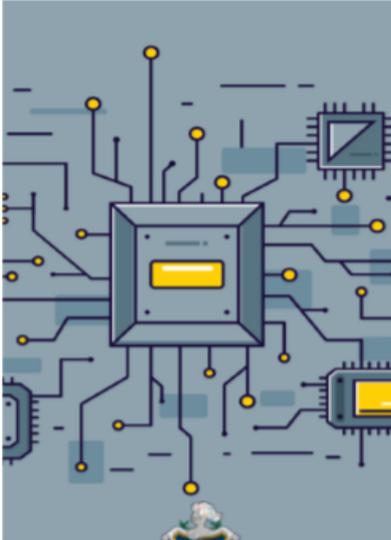
PULGAR
INDICE
MEDIO
ANULAR Y MEÑIQUE
TODOS LOS DEDOS
AUTO: (secuencia predeterminada)

- 4 Seleccione la secuencia deseada. Cuenta con 3 series personalizadas para el pulgar, indice y medio, el anular y meñique comparten movimiento, la opcion de todos los dedos contrae y distiensiona la totalidad del miembro, ademas de la secuencia predeterminada que muestra todos las secuencias.

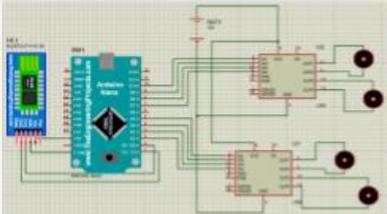
## Anexo 8: Ficha técnica del dispositivo

Fuente: Propia



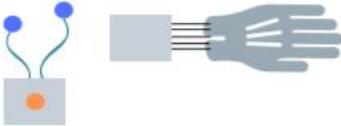




**Contacto**  
 Staisicafor23@hotmail.com  
 Escobaranthony@gmail.com



**CIRCUITO DEL DISPOSITIVO**

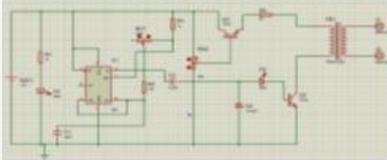
**ADVERTENCIAS:** EL DISPOSITIVO TIENE UN USO CONTINUO DE 20 MIN. ESTE REQUIERE UN ENTRE TIEMPO DE 10-15 MINUTOS PARA NUEVO USO. ESTO CON EL PROPÓSITO DE ALARGAR LA VIDA ÚTIL PERMITIENDO LA DISIPACIÓN DE CALOR INTERNO. REQUIERE DE UN MANTENIMIENTO PERIÓDICO CADA 6 MESES.



Especificaciones Generales del Dispositivo	
Nombre	Circuito de guante
Microcontrolador	Arduino nano
Tensión de alimentación	5-12V
Corriente de entrada	10 mA
Tiempo de uso continuo	20 min
Temperatura Max.	0°C - 35°C
Tamaño	9x15 cm

**ADEMAS DE LOS CIRCUITOS PRINCIPALES DE ADJUNTA ESPECIFICACIONES ESPECIFICAS**

Especificaciones del Arduino Nano	
Microcontrolador	ATMega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de alimentación	7-12V
Memoria Flash	32KB
EEPROM	1KB
Frecuencia de trabajo	16MHz
Dimensiones	0.73" x 1.70"
I/O Digitales	14 (6 son PWM)
Entradas Analógicas	8



**CIRCUITO ELECTRO ESTIMULADOR**

Especificaciones de electro estimulador	
Nombre	Electro estimulador
Tamaño	9x7 cm
Tensión de alimentación	12V (vcc)
Temporizador	NE555N
Corriente de entrada	30 mA
Frecuencia	1-50 hz
Temperatura	30 a 40 °C

Especificaciones del motor	
peso	9 g
Dimensión	22.2x 11.6 mm
Torque	1.9 kgf.cm
Velocidad de funcionamiento	0.1 s/60 grados
Voltaje de funcionamiento	4.8v - 5v
Rango de temperatura	0°C - 55°C



**INTERFAZ APP**

Especificaciones de la app	
Sistema operativo	Android
Idioma	Español
Secuencias	6
Peso	5 mb

