



**unitec**®

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PRÓTESIS CON MOVIMIENTO INDEPENDIENTE DE DEDOS**

**PARA MANO UTILIZANDO SEÑALES MIOELÉCTRICAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21641079 MARVIN JOSUÉ MORA SÁNCHEZ**

**ASESOR: ING. ALICIA MARÍA REYES DUKE**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis papas por brindar el apoyo incondicional sin importar las circunstancias. ya que me han apoyado en todo, y por creer siempre en mí. A alentarme en cumplir mis sueños. Gracias a sus esfuerzos que realizan como sus esfuerzos para poder llegar hasta este punto. Ya que todo se lo debemos a ellos.

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios, quien nos ha brindado esta oportunidad de culminar la meta tan importante para mí.

A mis padres quien me han apoyada incondicionalmente en todos mis sueños.

A nuestra asesora metodológica, la Ing. Alicia María Reyes; quien nos ha orientado en la realización de esta investigación brindándonos sus consejos y conocimiento.

A mis compañeros de carrera quienes estuvieron dispuestos en todo momento para brindar información necesaria para realizar y alcanzar los objetivos en esta investigación.

A María Enamorado por llenarme de alegrías y recuerdos para atesorar.

## **EPÍGRAFE**

*“El fracaso es una opción. Si las cosas no están fallando, no estas innovando lo suficiente”*

*-Elon Musk*

## RESUMEN EJECUTIVO

Esta presente investigación presenta los resultados en la creación de una prótesis de mano con señales Electromiográficas, enfocado en que este sea de utilidad para las personas con discapacidad. Enfocado para que sea un producto de bajo costo para que sea accesible a las personas. El aspecto de esta mano tiene la construcción de un material bastante resistente y un diseño parecido a la de una mano humana normal, no siendo un prototipo convencional y simple. Este prototipo contiene la movilidad independiente en cada dedo con un movimiento, cada parte de ellas creadas en impresión 3D y usando el software CAD para la creación con medidas exactas de una persona, El material utilizado para este prototipo es el PLA ya que es fácil de imprimir y bajo costo. El material que se recomienda en este proyecto poniéndolo a prueba es el ABS, pero el costo de él es elevado, pero vale la pena utilizarlo en caso de crear un mejor prototipo. El control de ellas viene principalmente usando señales EMG para mover servo motores en las falanges de la mano para crear un movimiento de agarre todo esto programando con un microcontrolador. El sistema fue puesto a prueba con todos los componentes creado pero el sistema no resulta funcionar debido a las lecturas incorrectas realizadas con el sensor y de igual forma los mecanismos no lograron al cumplir el objetivo de mover los dedos dado que estos mecanismos eran muy diminutos y se rompen con facilidad.

Palabras Clave – EMG, PLA, Software, prótesis, CAD, ABS, Falanges.

## **ABSTRACT**

This present research presents the results in the creation of a hand prosthesis with Electromyographic signals, focused on its being useful for people with disabilities. Focused so that it is a low-cost product so that it is accessible to people. The appearance of this hand has the construction of a fairly resistant material and a design similar to that of a normal human hand, not being a conventional and simple prototype. This prototype contains the independent mobility in each finger with a movement, each part of them created in 3D printing and using software for the creation with exact measurements of a person, the material used for this prototype is PLA since it is easy to print and low cost. The material that is recommended in this project when putting it to the test is ABS, but the cost of it is high, but it is worth using it in case of creating a better prototype. The control of them comes mainly using electromyographic signals to move servo motors in the phalanges of the hand to create a gripping movement, all this programming with a microcontroller. The system was put to the test with all the components created but the system does not work due to the incorrect readings made with the sensor and in the same way the mechanisms did not achieve the objective of moving the fingers since these mechanisms were very tiny and they break easily.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	7
<b>2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA</b> .....	7
<b>2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	8
<b>2.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	9
<b>2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	9
<b>2.5 Objetivos</b> .....	10
2.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	10
<b>III. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>3.1 Análisis de la situación actual</b> .....	11
3.1.1 Análisis De la situación actual: macroentorno .....	12
3.1.2 ANÁLISIS A NIVEL LOCAL .....	13
<b>3.2 AMPUTACIONES A NIVEL MUNDIAL</b> .....	13
3.2.1 MÚSCULOS DE LA MANO Y DEDOS .....	13
3.2.2 ARTICULACIONES DE LA MANO Y ANTEBRAZOS .....	15
3.2.3 CONTRACCIÓN MUSCULAR .....	16
3.2.4 SENSORES DE LA MANO .....	16
3.2.5 AMPUTACIONES DE EXTREMIDADES .....	16
<b>3.3 ROBÓTICA</b> .....	17
3.3.1 GEORGE DEVOL .....	17
<b>3.3.2 ROBOTS INDUSTRIALES</b> .....	18
3.3.2.1 ROBOT MANIPULADOR .....	19
3.3.2.2 ROBOT ARTICULADO .....	19
3.3.2.3 ROBOTS MÉDICOS .....	20
3.3.2.4 ROBOTS DE REHABILITACIÓN .....	21
3.3.2.5 ROBOTS BÍPEDOS .....	21
3.3.2.6 ROBOT SCARA .....	22
<b>3.3.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LOS ROBOTS</b> .....	23
3.3.4.1 SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTO DE ROBOTS .....	23

3.3.4.2 CINEMÁTICA DE LOS ROBOTS.....	23
<b>3.4 PRÓTESIS DE MANOS ANTROPOMÓRFICAS, ESTADÍSTICAS .....</b>	<b>23</b>
3.4.1 PRÓTESIS ROBÓTICAS.....	24
3.4.1.1 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA I-LIMB.....	24
3.4.1.2 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA DIST .....	25
3.4.1.3 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA FRH-4 .....	25
3.4.1.4 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA UOMPRO .....	26
3.4.1.5 PRÓTESIS DE MANO OCU-HAND .....	27
3.4.1.6 PRÓTESIS DE MANO BEBIONIC .....	27
3.4.1.7 ESTADÍSTICAS SOBRE INCAPACIDADES.....	27
3.4.2 MICROCONTROLADOR ARDUINO .....	28
3.4.2.1 SENSOR SHIELD .....	28
3.4.3 LENGUAJE PROGRAMACIÓN C#.....	28
3.4.4 SENSORES.....	29
3.4.5 SENSOR EMG.....	29
3.4.6.1 SERVO MOTORES .....	29
3.4.6.2 MOTORES NEUMÁTICOS.....	30
3.4.6.3 MOTORES HIDRÁULICOS.....	30
3.4.6 MECANISMOS.....	31
3.4.6.1 TIPOS DE MECANISMOS .....	31
<b>3.5 ELECTROMIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</b>
3.5.2 ANÁLISIS DE DATOS Y PROCESAMIENTO .....	33
3.5.3 APLICACIONES .....	33
<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
4.1 ENFOQUE.....	34
4.2 VARIABLE DE INVESTIGACIÓN .....	34
4.3 HIPÓTESIS.....	35
4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	35
4.5 MATERIALES.....	36
4.6 ALCANCE DEL PROYECTO.....	37
4.7 METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	37



Ciclo A de la metodología "V" .....	38
METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN .....	45
<b>V. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE METODOLOGÍA EN "V"</b> .....	<b>47</b>
Ciclo A de la Metodología en "V" .....	47
Ciclo B de la metodología en "V" .....	69
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>74</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>75</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Músculos del antebrazo .....	15
Ilustración 2- Robot Unimation de George Devol .....	18
Ilustración 3- Robot de microcirugía .....	20
Ilustración 4- ASIMO robot bípedo.....	22
Ilustración 5- Prótesis de mano i-LIMB .....	25
Ilustración 6- Prótesis de mano DIST.....	25
Ilustración 7- Mano antropomórfica FRH - 4 .....	26
Ilustración 8- prótesis de mano robótica UOMPRO .....	27
Ilustración 9- Posición del sensor EMG en los músculos .....	33
Ilustración 10- Variables de la Investigación .....	35
Ilustración 11- Niveles de los subsistemas .....	38
Ilustración 12- Lógica lectura de datos EMG.....	40
Ilustración 13. Prueba de von Mises Stress: PLA .....	48
Ilustración 14. Prueba de desplazamiento: PLA .....	50
Ilustración 15. Prueba de desplazamiento: ABS .....	51
Ilustración 16. Prueba de von Mises Stress: PLA.....	52
Ilustración 17. Prueba de Desplazamiento Falange Medial: PLA .....	53
Ilustración 18. Renderizado de mecanismo de dedos para la prótesis de mano.....	54
Ilustración 19. Conexión de sensor y pruebas de motores en el microcontrolador .....	55
Ilustración 20. Lectura de señales eletromiograficas.....	55
Ilustración 21. Sensor EMG en antebrazo .....	56
Ilustración 22. Renderizado de estructura de la prótesis.....	57
Ilustración 23. Diseño palma de mano de la prótesis de mano.....	58
Ilustración 24. Renderizado de mecanismo de dedos para la prótesis de mano.....	59
Ilustración 25. Diseñó de falange medial .....	59
Ilustración 26. Diseñó de mecanismo para accionamiento de dedos.....	60
Ilustración 27. Diseñó de acople para servo motores .....	60
Ilustración 28. Diseñó de acople para servo motores .....	61
Ilustración 29. Ensamblaje de mecanismo para accionamiento de dedos.....	61
Ilustración 30. Programación en Arduino.....	62
Ilustración 31. Programación en Arduino.....	63
Ilustración 32. Servo Motor .....	63
Ilustración 33. Integración de energía al sistema.....	64
Ilustración 34. Palma de la mano Impresa en 3D.....	65
Ilustración 35. Integración de los mecanismos en la prótesis.....	65
Ilustración 36. Integración de servo motores .....	66
Ilustración 37. Integración todas las partes mecánicas de la pretesis.....	67
Ilustración 38. Impresión en 3D del dispositivo .....	69

Ilustración 39. Acople tornillos de 2mm a las falanges ..... 70  
Ilustración 40. Vista inferior palma de prototipo ..... 72

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Motores para sistema de movimiento .....	36
Tabla 2. Material para estructura de prototipo .....	36
Tabla 3. Fuente de alimentación.....	36
Tabla 4. Sensor Electromiografico .....	37
Tabla 5. Microcontrolador .....	37
Tabla 6. Placa para servo .....	37
Tabla 7. Resumen de Resultados con material ABS Y PLA.....	47
Tabla 8. Comparación Material Falange Medial.....	53
Tabla 9. Costo de materiales utilizados .....	68
Tabla 10. Peso Componentes .....	71

## **LISTA DE SIGLAS**

EMG Electromiografía

CNC Computer Numerical Control (control numérico por computadora)

TPU Thermoplastic Polyetherane (Poliuretano Termoplástico)

ABS *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

PLA *Polylactic Acid*

## I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo cada día se realizan amputaciones en las manos ya sea por accidentes o que exista un riesgo por infecciones en esa extremidad. La calidad de vida de estos pacientes tiende a disminuir porque no realizan las mismas tareas de antes porque tenían ambas manos. Si bien algunos pacientes pueden utilizar prótesis, pero las de este tipo usualmente solo son una mano que no realiza algún movimiento o simplemente es de gancho. Las prótesis más complejas tienden a tener un costo sumamente elevado y en la mayoría de casos hay que importarlas de otros países. Por medio de señales mioeléctricas se ha conseguido un gran avance en mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades, ya que por medio de electrodos se captura señal proveniente de la contracción muscular y de esa manera generar nuevos equipos en el área de rehabilitación. Generando nuevas oportunidades de vida a las personas que han perdido una mano y haciendo que ellas se vuelvan más independientes. En Honduras, se realizó un Estudio entre el 2016 y 2017 que alrededor de 15,680 personas sufren de discapacidades siendo imposible para ellos continuar con sus vidas y la mayoría de personas no tienen acceso a la adquisición de prótesis comunes.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad realizar un diseño y prótesis de mano robótica, utilizando señales mioeléctricas generadas por los músculos de las personas a partir del sensor y activar la prótesis. De esta manera generar movimiento en cada uno de los dedos independientemente utilizando actuadores. Efectuando un estudio sobre los materiales a utilizar para que este equipo sea liviano para la persona que lo estará utilizando y que sea de alta calidad.

El objetivo a lograr es poder analizar los comportamientos de las señales mioeléctricas con los sensores EMG [electromiografía], para poder recolectar datos de su frecuencia y de esa manera generar el movimiento de los actuadores en el sistema de la prótesis. Definir los equipos a utilizar como materiales que sean de alta durabilidad, el peso correcto con todo el equipo electrónico. Con el fin de poder crear una prótesis para una persona y que esta pueda tener un poco más de independencia en su vida. Ya que en Honduras es limitado adquirir una prótesis y en dado caso son de ganchos o son una mano particular sin movimiento, para apoyar el área de rehabilitación en las personas y que tenga un precio accesible para generar un cambio en ella.

El informe estará compuesto con las secciones siguientes: Planteamiento del problema donde se muestra lo que es los precedentes, su debida definición y la justificación de la misma, las preguntas de investigación. El objetivo General y los objetivos específicos de la investigación. La sección del marco teórico, ya que esta es la parte donde está fundamentada la investigación donde se hablará acerca de los fundamentos principales del tema a investigar, se abordará desde la anatomía de la mano, sus músculos, articulaciones. Luego se abordará sobre la robótica, su creación en la era industrial, luego acerca de algunos robots utilizados en la industria que son un poco más comunes, la medicina empleada por los robots, el área de rehabilitación con la robótica como exoesqueletos utilizados. Algunas de las prótesis en el mercado que están disponibles al público en general y por último se menciona también de la tecnología a implementar en este tema de investigación para la creación de esta prótesis, luego se desarrollará la metodología en V, con la cual se desarrollará el proyecto dado que es un producto mecatrónico. A partir de la metodología se tomará en cuenta sus resultados para poder llegar a las conclusiones. Y como último se hablará referente a las limitantes que podría tener el proyecto como sus debidas recomendaciones que le pueden dar al prototipo.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se mostrará los precedentes del problema, como es necesario la implementación de prótesis robóticas a las personas con este tipo de discapacidades. Se definirá el problema a investigar como la justificación de la misma y se van a detallar preguntas de investigación con sus objetivos.

### **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Un problema serio que podría presentar una persona es tener la pérdida de alguna extremidad en su cuerpo. La manera en que los humanos trabajamos es mediante el uso de nuestras manos y movimiento con las piernas, las mas importantes son las manos ya que nos permiten hacer muchas más actividades en nuestros trabajos y en nuestras propias vidas. Por eso esta investigación esta enfocada en la creación de una protesis de mano con movimientos de dedos independientes y principalmente que sea accesible para la población.

Cada año en todo el mundo se realizan amputaciones para el cuerpo humano, y esto redundante en una baja calidad de vida de la persona. Para ayudar a una persona a realizar sus tareas diarias, se colocan prótesis y en todo caso estas solo se utilizan para simular que tiene dos manos. De esta manera no tienen alguna inconformidad para poder ser visto sin una mano con la sociedad (Bastarrechea et al., 2020)

Las personas que sufren de amputaciones en este caso de mano, estas situaciones les genera una incapacidad de realizar labores. Se estima que estas prótesis tienen un costo alrededor de \$ 4,000 a \$ 25,000 dependiendo el tipo de prótesis que desean adquirir. Debido a esta problemática se estima que en otros países menos desarrollados es muy probable que no tengan los suficientes recursos para adquirir prótesis siendo así que muchas personas opten por mejor no utilizar estos equipos por su costo demasiado elevado, pero cada persona enfrente diferentes tipos de problemas cuando sufren de alguna amputación (Jabin et al., 2019)

Recientemente se ha implementado nuevos avances en las prótesis de mano, como con varios tipos de articulaciones, rotaciones en el dedo pulgar, movimiento independiente de ellos. Y varias empresas que producen estos equipos han ayudado en estos últimos tiempos a recuperar



el control en las personas. Las prótesis actuales cuentan con catorce diferentes maneras de movilidad, La prótesis BeBionic es una de las más avanzadas que les permiten desde cargar objetos, comer y escribir siendo esta la más parecida a una mano humana, pero a la vez siendo una prótesis bastante cara (Radu (Frent) et al., 2020).

En la medicina se han empleado robots para la rehabilitación en personas, siendo estos para extremidades de mano que ayudan en ciertos casos a ajustar las posiciones correctas de los músculos, siendo estos guías para realizar movimientos con diferentes tipos de trayectorias para las personas. La función que se les brinda es un brazo mecánico el cual ayuda a recuperar las funciones motoras del cuerpo brindando más apoyo en la persona. Estos sistemas son instalados para que el paciente los utilice en su hogar con sus debidas configuraciones (Wei Wei et al., 2013).

El mayor reto que se tiene en la actualidad es restaurar una parte de una extremidad humana ya que las personas no pueden regenerar una parte, pero dada la ciencia hoy en día se han creado nuevos diseños y conceptos para poder crear protesis. Como softwares para la creación de estos componentes y utilizando nuevos sensor para recopilar información del cuerpo humano ha sido posible la creación de nuevas partes mecánicas y eléctricos para ser implementadas como una mano humana (Cracchiolo et al., 2020).

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Desarrollar prótesis con sensores Electromioelectricos es bastante útil debido a que de esta manera se pueden recibir señales con las contracciones musculares, dado que es la manera en la cual las manos pueden generar movimiento. Enviando este tipo de frecuencias hacia un sistema para generar movimiento en las manos y de esta manera que el sistema sea más efectivo y que tenga más control. Este sensor puede detectar varias frecuencias de nuestros movimientos de esta manera tener más específico los movimientos a generar (Beninati & Sanguineti, 2019).

Esta investigación está enfocada en el desarrollo de un prototipo para prótesis de mano que este enfocado para crear movimiento de los dedos en las personas de forma independiente utilizando señales eletromiograficas para detectar contracciones en el antebrazo de la persona y enviando esa información al microcontrolador para generar movimiento en las falanges con un

prototipo bastante liviano, sin tener un factor bastante común que es un movimiento simple. Que este dispositivo genere un agarre de objetos y que esta puede ser de bajo costo.

### **2.3 JUSTIFICACIÓN**

En el mundo se generan alrededor de 300 a 500 amputaciones diarias y al año unas 185,000 incrementado cada día, debido a enfermedades o accidentes que se generan. El coste de llegar a utilizar prótesis rondan los \$4,000.00 de manera general, teniendo bastantes personas sin la capacidad de adquirir una prótesis de estas y dejando a varias de estas sin una extremidad. Se propone la idea de crear una prótesis de bajo costo y con movimientos independientes de dedos con señales eletromiograficas ya que las personas que sufren de esta pérdida tienden a tener el antebrazo con la capacidad de poder leer contracciones musculares. Anteriormente se han generado prótesis artificiales con materiales plásticos, pero sin movimientos solo de tubos y siendo parecidas a humanas.

En la prótesis crear movimiento de agarre para la persona que perdió una mano ayuda a mejorar la capacidad de vida porque estas utilizan movimiento independiente de dedos que se compone con partes del cuerpo humano bastante parecidas en su prototipo, ya que en cada dedo están compuestos con mecanismos para generar un agarre común. (Bennett et al., 2012).

### **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Como se integra un sistema EMG para una prótesis robótica?  
¿Qué mecanismos y actuadores se van a utilizar para llevar a cabo el movimiento de la prótesis?
- ¿Qué características debe tener un movimiento de dedos independiente?
- ¿Qué materiales son adecuados para la construcción de una prótesis de mano?
- ¿Qué actuadores son los más eficientes para poder generar movimiento a la prótesis?
-

## 2.5 Objetivos

En esta sección se definirán los objetivos generales tanto como los objetivos específicos del proyecto propuesto.

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL.

- Desarrollar un prototipo de una prótesis funcional que se pueda utilizar con un sistema EMG [Electromiografía] permitiendo la funcionalidad del movimiento de dedos independiente con una alta durabilidad a un bajo costo.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar los materiales adecuados para el desarrollo de la prótesis.
- Diseñar modelo en SolidWorks de la prótesis robótica.
- Diseñar mecanismos adecuados para el movimiento de dedos
- Interpretar señales electromiografías mediante contracciones de músculos.
- Evaluar movimientos en la prótesis generados por los actuadores y los mecanismos
- Construir un prototipo que genere movimiento independiente en cada dedo para personas discapacitadas.

### **III. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se aborda lo que son conceptos básicos y avanzados para desarrollar de forma correcta esta investigación, ya que es importante conocer los huesos que están formados en la mano, los tipos de movimientos que pueden realizar, para poder comprender a fondo una mano humana.

Se brindará los métodos que se estarán utilizando, como se integrara el sistema para que la prótesis sea un sistema de alta calidad y funcionalidad para el usuario. Creando independencia para el usuario que tenga la pérdida de su mano. De igual manera conocer todas las características físicas necesarias para la elaboración de este proyecto.

#### **3.1 Análisis de la situación actual**

En los últimos años se han creados grandes avances en las prótesis para las manos, dando la oportunidad de poder generar movimientos aquellas personas que necesitan flexibilidad en ellas, estas tienen la habilidad de poder generar un mejor agarre en ellas. Estas se han cambiado en el sentido de que sus diseños ya que se han visto bastante parecidos a los de una mano humana, debido a que hoy en día tenemos softwares para hacer mejores diseños de estas manos como también a mejorar la autonomía de estos equipos para un uso continuo. Se han mejorado los controles de ellas, tienen más grados de libertad, operan con alta eficiencia y siendo silenciosas. El más grande problema que enfrentan estos equipos son el uso de baterías que convierten estas prótesis pesadas al cargar con ellas. (Pylatiuk et al., 2004).

Las prótesis se utilizan cuando una persona tiene la pérdida de un brazo o mano y de esta manera se realizan construcciones siendo cosméticas, convencionales y las eléctricas que son controladas mediante motores, con EMG y con microcontroladores. Existen proyectos que están abiertos a todo el mundo para que tengan acceso a esta tecnología y de esta forma que el conocimiento sea compartido mutuamente y que el público pueda tener este acceso (Koprnicky et al., 2017).

### 3.1.1 Análisis De la situación actual: macroentorno

En la medicina se utilizan prótesis de mano articuladas con fuerza, estas tienen un alto grado de movimiento. Contienen cinco dedos individuales que pueden lograr varias configuraciones como la mano BeBionic de RSL Steeper, Vincent Systems' Vincent Hand y la i-LIMB por Touch Bionics. El control que se obtienen de estas manos es un poco bajo debido a que estas utilizan un sistema de Electromiografía del año 1960 el cual la persona que quiere adquirir debe aprender bastante del lenguaje en la cual se envían las señales para poder tener un movimiento con varios ángulos de libertad (Tommasi et al., 2013).

Algunas de las prótesis de mano que están en proyectos abiertos para el público se pueden encontrar como Limibittless, NotImpossible, Open Bionics, ROMP, Youbionic, el cual las personas son voluntarias para crear este tipo de equipos y brindárselos a todas las personas que necesiten algún equipo de estos y entre quienes lo desarrollan pueden compartir más datos y mejoras que hacer en estos sistemas. La mano biónica HACKberry es un proyecto de investigación libre para todo el mundo que desean optar por sus diagramas de conexión, programación o tomar ideas para el desarrollo de nuevas ideas (Koprnicky et al., 2017).

Actualmente la empresa más grande en el área de la creación de prótesis es Ottobock con su sede en Alemania fundada en 1919, esta es la más grande líder en la creación de prótesis para el mercado con ventas anuales de \$ 1.2 Billones. Se han concentrado en los estudios para los diseños de implementación de nuevos sistemas mecatrónicos para el desarrollo de articulaciones robóticas. Sus estrategias están enfocadas en la comunicación con las personas no solo aquellas se sufren de alguna discapacidad si no que varios grupos de personas, ya que realizan exhibiciones para demostrar las habilidades que las prótesis tienen (Kristal et al., 2020).

La empresa Ottobock utiliza tecnología de Inteligencia Artificial para identificar movimientos generados por contracciones muscular de esta forma aprende la persona que está usando estas prótesis. Capturando estas señales mediante electrodos luego está encargada de asignar estas señales a la prótesis para mover la mano correctamente (*Digitalisation and Innovations for More Quality of Life*, n.d.)

### 3.1.2 ANÁLISIS A NIVEL LOCAL

En Honduras actualmente se fabrican prótesis artificiales para personas que perdieron alguna extremidad, estas son fabricadas por la fundación teletón. Crean las prótesis para aquellos que perdieron completamente una extremidad. Al paciente les toman las medidas que necesita, luego se encargan de la creación de ella y colocarla para que este se adapte a su cuerpo (Más de 3,000 personas beneficiadas con prótesis hechas por Teletón, n.d.)

Mediante un emprendimiento social se llegaron a crear prótesis ortopédicas para manos en 3D para que las personas tuvieran más libertad. Este se logra mediante un módulo para poder imprimir estas prótesis con impresoras 3D, con cortadores laser y computadoras de diseños y siendo estas una de las mejores oportunidades para que las personas puedan regresar a sus tareas diarias (Prótesis en 3D ayudará a que jóvenes con discapacidad puedan desarrollar emprendimientos, n.d.)

### 3.2 AMPUTACIONES A NIVEL MUNDIAL.

Las amputaciones se generan casi a diario y se generan alrededor de unas 300 amputaciones en el día. Estas vienen enfocadas ya sean por enfermedades que se provocan o por algún accidente ya que la mano es una de las partes más afectadas al momento de hacer alguna tarea o actividad y debido a eso estos accidentes pueden suceder. Los diabéticos son los más propensos a poder perder esta extremidad debido a su grave enfermedad y con tener un pequeño accidente con esa parte del cuerpo se puede llegar a realizar una amputación de esa extremidad.

En estados unidos es el país donde más se generan amputaciones siendo estas unas 500 por día y cada día estas van incrementando y se estima que hay alrededor de unas 2.1 Millones de personas viviendo sin una extremidad. Los militares son las personas que sufren cuando van a guerras y pierden esa parte de su cuerpo ("15 Limb Loss Statistics That May Surprise You," 2017).

#### 3.2.1 MÚSCULOS DE LA MANO Y DEDOS

Los músculos que están encargados de mover la muñeca son: Flexor del carpo radial, este se encarga de mover y flexionar la muñeca, por ejemplo, al momento de tomar el pulso a una persona es en carpo radial. El musculo flexor del carpo lunar que se encarga de igual manera

generar movimiento y flexionar la muñeca. El musculo Extensor del carpo ulnar está encargado de extender y mover la muñeca. El musculo Palmar largo es encargado de hacer la flexión en la articulación de la mano (Rizzo, 2011).

Existen varios músculos del antebrazo que provocan flexiones y extensiones en los dedos, estos provocan un control en la mano y son llamados músculos extrínsecos. Debido a que estas articulaciones están apartadas estas permiten movilidad en la mano y la muñeca.

Para que se produzca movimiento en la mano estos cuenta con músculos pequeños llamados intrínsecos, ya que estos están ubicados en los huesos del carpo y el metacarpo. Debido a estos músculos pueden ejecutar acciones como la flexión y extensión en el área metacarpofalángicas, estos generan los movimientos de abducción y aducción. En la palma de la mano se componen cuatro músculos lumbricales en los tendones flexores de los dedos, sus tendones están compuestos con los músculos extensores de los dedos. Su flexión es provocada con esos músculos en las articulaciones metacarpofalángicas, de igual manera se producen extensiones en el área interfalángicas de los dedos. El movimiento abducción de los dedos es producido mediante cuatro músculos llamados interóseos dorsales, En la ilustración 1 se puede observar el flexor radial y el palmar largo de los músculos ya que esa es la parte donde se colocan los sensores Electromiograficos para su debida lectura, Es el área donde están conectado los músculos de los dedos con los músculos del antebrazo. El meñique efectúa una abducción mediante el músculo abductor, luego el pulgar tiene un músculo abductor corto el cual efectúa este movimiento. Los músculos interóseos de la palma realizan la debida aducción de los dedos en las articulaciones metacarpofalángicas (Martini, 2009).

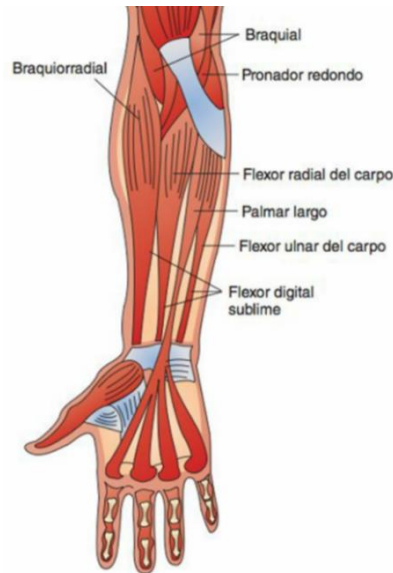


Ilustración 1- Músculos del antebrazo

Fuente: (Rizzo, 2011)

### 3.2.2 ARTICULACIONES DE LA MANO Y ANTEBRAZOS

Se le conoce como bisagras uniaxiales a la cual el movimiento de articulación se limita a la extensión y flexión en solo un área, este tipo de articulaciones se pueden encontrar en las falanges medias y distales de las manos. La articulación biaxial donde se une un hueso carpometacarpiano tiene una estructura bastante compleja en el sentido que tiene un área cóncava en un lugar y el otro lugar es convexa. Resultando en una unión entre los dos generando de esta manera movimientos de flexión, en este caso resultando el agarre de objetos (Rizzo, 2011).

La articulación condiloidea es donde un hueso se une como en forma ovalada creando una unión con el otro ya que tiene la misma forma. Haciendo que genere movimiento para atrás y adelante, este hueso no puede hacer un movimiento giratorio como en el caso de los metacarpofalángicas que es donde están los nudillos y ahí si puede hacer un movimiento giratorio con su eje (Marieb, 2012).

Los dedos pueden generar diversos tipos de movimientos angulares como:

La abducción ya que este es el movimiento que se genera cuando los dedos se abren y en este caso son separados unos con otro, mientras que la aducción es donde los dedos regresan a su posición original desde donde se abrieron. El movimiento de oposición se refiere a cuando el



dedo pulgar se junta mutuamente con los otros dedos y se logra tocar la yema de los dedos, es llamado también reposición al hacer un movimiento contrario a ese (Martini, 2009).

La supinación y pronación se refiere al movimiento que se genera alrededor del cubito del antebrazo, haciendo que la mano rote dejando al cubito y el radio de manera recta uno de ellos, de la misma forma haciendo rotar lo que es la palma de la mano (Marieb, 2012).

### 3.2.3 CONTRACCIÓN MUSCULAR

Para que exista una contracción muscular se debe impulsar mediante los nervios, las áreas encargadas de poder generar este tipo de movimiento a los músculos son las neuronas, estas pueden mover hasta cientos de ellas. Cuando una neurona alcanza un hilo muscular se le llama fibra nerviosa uniéndose y formando una unión neuromuscular. Cuando un impulso nervioso llega hasta las fibras nerviosas estas realizan un químico llamado neurotransmisor y hace que estimule las células de los músculos. Se le conoce al potencial de acción cuando iones de potasio y sodio entran a las células permitiendo un impulso eléctrico de célula a celular siendo como resultado una contracción de la célula muscular (Marieb, 2012).

### 3.2.4 SENSORES DE LA MANO

La habilidad de poder sentir se encuentra en nuestro cerebro dado que los sensores se ubican en los lóbulos del cerebro, que está en la parte superior. Esta es donde se encuentran todos los sensores ya sean de tacto, gusto, audición (Rizzo, 2011).

### 3.2.5 AMPUTACIONES DE EXTREMIDADES

Las amputaciones suceden por diferentes situaciones de la vida, ya sea por alguna enfermedad, si se sufrió algún accidente y era necesario amputar, o por alguna operación. Un problema a las personas que recientemente tuvieron alguna amputación es la pérdida de equilibrio, se convierte en alguna deficiencia ya que no se puede generar movilidad en esa parte del cuerpo. El motivo de esa consecuencia es que la calidad de vida que tenía antes se vuelve complicada y difícil de afrontar (Luengas C. & Toloza, 2020).

Las amputaciones más comunes suceden en los dedos, ya que es la parte donde suceden la mayoría del accidente, debido a esto las personas tienden a vivir normalmente. La fuerza que

anteriormente podían ejercer sus manos debido a la amputación ya está perdida en el caso que la amputación haya sucedido en algunos dedos y no en todos. La vida también tiende a decaer por el factor de quejas musculoesqueléticas, la razón de esto es porque cuando una persona es recién amputada el dolor de este tiende a durar bastantes meses. El dolor tiende a ser en el brazo y antebrazo (Bouma et al., 2018).

El dolor en estas áreas tiende a ser de un 70% hasta un 15% en el área donde se hizo la amputación, estos dolores pueden llegar a ser bastante crónicos y el 50% de las desarrollan lo que es conocido como dolor crónico posterior a la amputación (Xavier et al., 2020).

### **3.3 ROBÓTICA**

En los últimos 45 años la robótica ha avanzado considerablemente encontrándose nuevas barreras como a las soluciones que estos pueden tener en la vida. La evolución se ha tenido en cuenta a medida que los humanos tienen la necesidad de ocurrir a ellos. En los años 1960 se inició la revolución industrial quitando a los humanos de operaciones sumamente complicadas que les pudiera poner su vida en peligro. Debido a la creciente demanda por estos robots el mundo demanda bastantes robots de servicios que puedan ayudarlos a cumplir con sus necesidades (Ballard et al., 2012).

Se han creado varios robots que ayudan a los humanos explorar áreas difíciles de acceder, estos contienen un alto grado de efectividad de la manera en que pueden sostener objetos para cumplir tareas simples como de mover objetos de un lugar a otro lugar. Las manos robóticas que tienen varios grados de libertad ofrecen una gran capacidad de trabajo que son bien vistos por la sociedad aunque estos tengan una flexibilidad limitada (H. Liu et al., 2016).

#### **3.3.1 GEORGE DEVOL**

Cuando Charles Devol tenía 19 años abrió su primera industria de manufactura en la era de la gran depresión. Ya que en ese entonces lo que él quería transformar la industria y la seguridad para brindar mejores oportunidades. Ya que él creó la empresa Unimation, empresa más grande en la revolución de los robots. El logro a tener 36 patentes a lo largo de toda su vida.

Devol nunca se consideró un hombre apasionado por la robótica, Devol se consideraba como solo un inventor y hombre de negocios. En el año 1961 patentó su primer robot articulado para la manufactura de vehículos en la línea americana, como se puede apreciar en la ilustración 2 el robot Unimation fue su primer invento de robot articulado. A él le gustaba solucionar problemas y de esa manera creando los robots porque en las líneas de ensamble los trabajadores hacían labores bien complicadas y peligrosas. Y de igual manera quería mejorar la producción por que los sistemas que tenían eran manuales con ineficiencia (Ballard et al., 2012).

(Ballard et al., 2012) menciona:

A Devol le gustaba la idea de llamar a sus inventos "Robots" debido a que si desea vender algo tiene que darle un nombre para que las personas lo reconozcan. Ya que al inicio su socio Engelberger quería hacer llamar como manipuladores, pero nadie sabía que significaba eso.

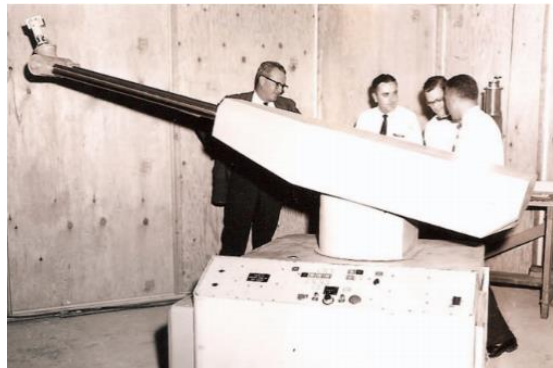


Ilustración 2- Robot Unimation de George Devol

Fuente: (Ballard et al., 2012)

### 3.3.2 ROBOTS INDUSTRIALES

Las actividades que hace un robot industrial es hacer actividades que tengan un alto grado de peligro para las personas debido a que estos están encargados para actividades en ambientes hostiles y que puedan poner en riesgo la vida de las personas. Estos robots tienen diferentes tipos de movimientos como el control de fuerza, agarre y posición.

Mientras el año 1990 empezaba la industria empezaba con la demanda de robots industriales que tuvieran nuevas capacidades como por ejemplo la flexibilidad que fuera su

principal fuerte. Después de esto se introdujeron lo que son robots para procesar comida y en el área de las farmacias. Los servicios postales buscaban robots que pudieran automatizar sus logísticas para que estos estén almacenados dependiendo de su producto, tamaño, peso, etc. El problema que más se tuvo con estos robots es que no se podían adaptar al ambiente de esos tipos de productos.

La principal línea de robots de hoy en día está enfocada a utilizar Inteligencia Artificial y que de esta manera ellos tengan la habilidad de poder resolver problemas. De esa manera poder operar con la presencia de problemas y que no esté involucrada la mano humana, haciendo que resuelvo los problemas por el mismo.

Debido a que hoy nos estamos modernizando rápidamente el mercado es más exigente, requiriendo de más servicios para tener una mejor calidad de vida, la mayoría de estos son utilizados en el mercado de cirugías, robots alimentadores, robots llenadores de combustibles, robots de rehabilitación. Los robots que son más interesados por parte de la comunidad son aquellos que brindan algún servicio total que son los médicos y los que se usan para rehabilitar (Garcia et al., 2007).

#### 3.3.2.1 ROBOT MANIPULADOR

Los robots conocidos como manipuladores estos contienen brazos robóticos con una extremidad que les permite realizar tareas ya que contienen una especie de gancho mecánico permitiendo movimiento. Estos fueron creados para hacer tareas como soldar y pintar, pero a medida que pasan los años se han visto incrementados las aplicaciones en la medicina como las cirugías y rehabilitaciones (Garcia et al., 2007).

#### 3.3.2.2 ROBOT ARTICULADO

En las últimas décadas han existido robots con la capacidad de poder generar flexiones cuando se están haciendo procesos de manufactura, los robots industriales articulados fueron diseñados para realizar la sustitución de humanos en las plantas de manufactura, Estos ofrecen una gran ventaja debido a que se pueden programar con varios tipos de sensores, creando de esta manera un robot multiusos y al mismo tiempo ayudar a un operario (Ivan et al., 2019).

### 3.3.2.3 ROBOTS MÉDICOS

Los robots médicos se han estado desarrollando durante los últimos tiempos ya que hoy podemos ver que se implementan en diferentes áreas como la cirugía, ortopédicos, cirugías cardíacas, etc. Los robots usados en esta área pueden ser de mucha utilidad a que ellos tienen más precisión al momento de realizar tareas bien difíciles, debido a que la deficiencia que tiene la mano de una persona es que tiende a moverse y el robot no.

En la década de los 80s fueron implementados los primeros robots ortopédicos en el área de la neurocirugía y en la radioterapia. Esa clase de robots se utiliza para cortar huesos, para usarse en las cirugías para la cabeza ya que eran de mayor precisión usarse en esa área que es delicada. La otra generación de robots se implementó utilizando robots operados por los cirujanos, ellos lo que hacen es usar manos mecánicas y mientras él está viendo un video en tiempo real se puede realizar la operación (Kucuk & Gungor, 2016).

Las cirugías pueden llegar a tardar horas y debido a esto se requiere de bastante precisión y paciencia, como se observa en la ilustración 3 ese es un robot utilizado para la microcirugía con bastante precisión. también requiere enfoque por parte del cirujano que está llevando a cabo esta operación debido a eso la tecnología micro manipuladora utiliza una gran precisión con su movimiento y la dirección o plano a la que se quiere mover porque esta realiza microcirugía siendo más efectiva que las manos de un cirujano. El alto grado de tecnología que este puede tener es por su gran precisión y fiabilidad, debido a que puede detener venas establemente por un gran periodo de tiempo (Jianxun Zhang et al., 2006).

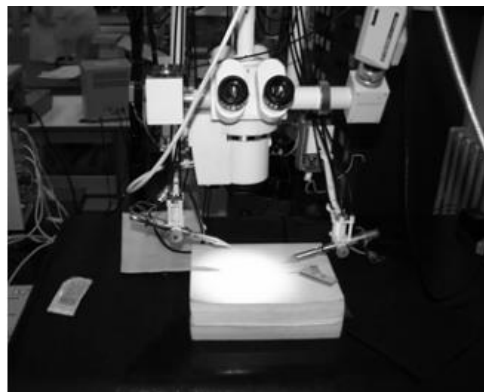


Ilustración 3- Robot de microcirugía

Fuente: (Jianxun Zhang et al., 2006)

#### 3.3.2.4 ROBOTS DE REHABILITACIÓN

La población adulta cada día enfrenta bastantes problemas cuando son incapacitados, estos tienden a ocupar rehabilitación ya sea porque pueden desarrollar dolores de espala. Es necesario llevar a cabo bastantes terapias de rehabilitación, pero dada la tecnología de hoy en día se puede lograr mediante rehabilitaciones de exoesqueletos. Estas pueden ayudar a una persona que talvez no puede caminar por alguna circunstancia, aunque tengan su cuerpo completo, pero se pierda la movilidad en los músculos, estos equipos ayudan a levantarse y poder ejercitar sus músculos debilitados. A medida que el paciente está usando estos equipos puede restaurar sus sistemas nerviosos y a la vez poder realizar sus actividades. Cada exoesqueleto esta diseñada para cada área que la persona tenga esa incapacidad debido a que si se usa sin previo estudio puede generar un daño secundario y afectar más a la persona.

El estudio de los exoesqueletos en la década de 1960, cuando se usaron por primera vez en los militares, desde esas épocas se han visto nuevos avances desde utilizar señales enviadas por el cerebro y generar movimiento como poder ayudar a personas parapléjicas regresando a su vida cotidiana.

El país Japón desarrollo un exoesqueleto llamado "HAL" el cual su principio se basa en la captura de señales EMG, las cuales están son recogidas mediante sensores en el cuerpo de una persona para enviarlas a una computadora y esta se encargue de generar el movimiento y lo que ellos desean hacer. Luego el sistema es encargado de generar el movimiento con los motores de acuerdo a la información brindada por los sensores (Wang et al., 2019).

#### 3.3.2.5 ROBOTS BÍPEDOS

Los robots bípedos se vuelven cada vez más comerciales debido a su gran parecido que tienen con los humanos, cada vez existen mejores avances en la robótica por sus actuadores que hay. Pero hasta la actualidad se vuelve bastante complicado sus construcciones debido a que mover un peso bastante significativo requiere de un gran actuador y este se debe al torque que debe generar para moverlo debido a su gran peso. De esta manera estos robots se vuelven más lentos al moverse o dar un simple paso, la solución que se les pone es que sus piernas sean más

cortas para que su centro de gravedad baje y sus pies sean más largos generando estabilidad en el equipo. Existen varias investigaciones robóticas relacionadas al tema de robots bípedos dado que la ciencia de realizar estos es bastante interesante y mediante pasa el futuro las personas les gusta la idea de crear robots que parezcan humanos como se observa en la ilustración 4, un robot bípedo parecido a una persona con características bastante similares. Y otros están más enfocados en que la capacidad de caminar sea un poco más lejana con velocidad (Yi & Lee, 2016).



Ilustración 4- ASIMO robot bípedo

Fuente: (Garcia et al., 2007)

#### 3.3.2.6 ROBOT SCARA

Los robots scara pueden moverse en los planos  $x$ ,  $y$  y  $z$  donde pasan desde el punto cero de la base, pueden tener un tipo de elevación horizontal como también en vertical. De estos se pueden encontrar diversos tipos dependiendo el área de trabajo que estén. Estos tienen cuatro grados de libertad para moverse, se controlan mediante tres servos colocados horizontalmente y para manipular el eje vertical se utiliza un controlador neumático. Este robot se desarrolló con el propósito de realizar tareas de recoger y poner como en una planta donde tengan que ensamblar placas electrónicas porque para estos trabajos es necesario tener bastante delicadeza debido a sus partes pequeñas de ellas (Das & Canan Dülger, 2005).

Estos robots se han convertido bastante fundamentales en la industria de la automovilista y el empacamiento de productos, muchos de estos solamente se utiliza en la industria estos modelos de robots se han dejado de estudiar debido a que el mejor uso para ellos ayudar a la industria de procesos (Shariatee et al., 2014).

### 3.3.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LOS ROBOTS

Los robots se manejan mediante un movimiento a partir de diferentes componentes, para hacer este tipo de movimiento primero se necesita saber la tarea a realizar. Estos deben de cambiar de posición y esto se le brinda a medida de que va haciendo su trabajo con unas coordenadas específicas. Como objeto principal estos deben tener gran flexibilidad y con gran fuerza para poder trabajar ("International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017)," 2018)

#### 3.3.4.1 SISTEMA DE CONTROL PARA MOVIMIENTO DE ROBOTS

Los sistemas de control son la pieza fundamental para el funcionamiento de los robots ya que estos están diseñados para poder hacer los sistemas de movimiento y que sean de manera eficiente. Los componentes que hacen funcionar estos robots son mediante los sistemas que leen la programación que es subida por el usuario, así mismo como sus actuadores que estos llevan. Estos robots funcionan como un ser humano debido a que estos llevan un sistema de movimiento con interpolación y eso hace que se genere un movimiento ("International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017)," 2018).

#### 3.3.4.2 CINEMÁTICA DE LOS ROBOTS

Los robots industriales pueden tener seis grados de libertad en su movimiento, entonces la cinemática se encarga de estudiar la velocidad, las coordenadas donde este robot se mueve. Pero la trayectoria donde este se moverá implica bastante la dinámica de la cinemática que este tenga porque es la que se encarga de generar su movimiento en los grados de libertad que este contenga ("International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017)," 2018).

### **3.4 PRÓTESIS DE MANOS ANTROPOMÓRFICAS, ESTADÍSTICAS**

En la robótica es bien complicado desarrollar equipos que tengan una precisión de agarre, todavía se sigue en la investigación y búsqueda para mejorar diseños de mano antropomórficas. Pero actualmente ya se han desarrollado equipos con agarres bastantes complejos, el problema que estos tienen es que pueden ser bastante costosos y a veces no son viables (Bolboe & Staretu, 2014).



(H. Liu et al., 2016) menciona:

Recuperar la función motora de la mano humana significa que es algo bastante retador, ya que es la ciencia que estudia las prótesis de manos antropomórficas, tienden a tener un tipo de sistema biomecánico para que ayude a las personas discapacitadas que vuelvan a tener movimiento con sus manos mediante ese sistema. Pero estas prótesis hasta el día de hoy no compiten con una mano comparando su estructura, sus sensores, y el control que tiene de ella. (p.1)

### 3.4.1 PRÓTESIS ROBÓTICAS

En la vida se han desarrollado diferentes tipos de prótesis que a su vez tienen limitantes ya que estas a su vez pueden solo generar un movimiento en un solo ángulo, y el problema más grave que se tiene es que el ser humano tiene 20 grados de libertad al momento de realizar estos movimientos. El problema de estas no solo es el movimiento que se le genera si no que la complejidad que se tiene al momento de generar agarres como también de posturas. Gracias a los nuevos avances en la tecnología hoy en día se puede llegar a crear este tipo de prótesis que contengan diferentes tipos de movimientos y de la misma vez que tengan agarres. Estas nuevas prótesis pueden ayudar a la persona que recientemente ha tenido alguna amputación a mejorar sus capacidades para realizar actividades ya que estas cuentan con múltiples tipos de mecanismos que ayudan al agarre (Bennett et al., 2012).

#### 3.4.1.1 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA I-LIMB

En el mercado existen diferentes tipos de manos que generan funciones como movimientos de dedos y estas contienen varios ángulos de independencia. La prótesis i-LIMB como se observa en la ilustración 5 es una mano con diferentes tipos de movimientos en los dedos y estas tienen cinco dedos independientes y un dedo pulgar electrónica que permite generar un movimiento manual.



Ilustración 5- Prótesis de mano i-LIMB

Fuente: (Radu (Frent) et al., 2020)

#### 3.4.1.2 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA DIST

La mano DIST-Hand es una mano controlada por un mecanismo el cual mueve cuatro dedos y esta tiene 16 grados de libertad, la idea principal de esta mano es que sea pequeña y que sea super liviana para su uso. Esta tiene el concepto de ser antropomórfica, es decir de fácil portación y ser utilizar con varios tipos de robots si se desea desarrollar uno estático. Este diseño tiene un gran parecido a una mano humana debido a la mecánica que existe dentro de los dedos en la Ilustración 6 se observa la protesis de mano DIST. Se propuso con la idea que genere gran movilidad ya que está construido con 6 tendones y hecho de un material de poliéster para que este sea jalado. La manera en la cual genera el movimiento es por medio de 5 motores DC que accionan los tendones y (Caffaz & Cannata, 1998).

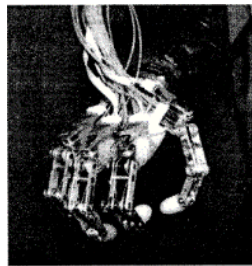


Ilustración 6- Prótesis de mano DIST

Fuente: (Caffaz & Cannata, 1998)

#### 3.4.1.3 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA FRH-4

El concepto principal que esta mano contiene es que sea antropomórfica es decir que tenga el concepto principal como la forma de una mano humana y que consista en agarre, siendo esta en una mano bastante conveniente para que se puede usar con agarre preciso y fuerza. El diseño de esta mano consiste en materiales que tengan un parecido a la palma de la mano

humana teniendo articulaciones de forma redonda, marcando un concepto como en los huesos. Esta mano tiene 8 grados de libertad al momento de hacer movimiento, se produce una flexibilidad en el dedo pulgar y en los dedos de en medio. El diseño que esta mano robótica tiene permite un control y agarre sumamente preciso. El diseño y construcción final se puede observar en la ilustración 7 donde está completamente ensamblada (Gaiser et al., 2008)

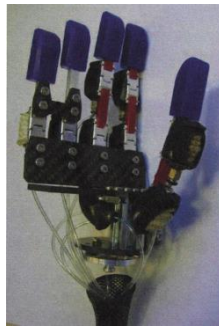


Ilustración 7- Mano antropomórfica FRH - 4

Fuente: (Gaiser et al., 2008)

#### 3.4.1.4 PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA UOMPRO

La prótesis de mano UOMPro está construida mediante material de impresión 3D y sus partes están formadas con máquinas CNC para esos cortes precisos. Es una mano antropomórfica con un peso de 450g y seis diferentes tipos de movimientos que incluyen su flexión y extensión, con alta durabilidad y de gran calidad. El control que utiliza para generar movimiento es a partir de señales mioeléctricas, En la ilustración 8 se aprecia la construcción final de mano con una característica similar de la mano de una persona. De esta forma esta puede recibir datos y así poder generar los movimientos independientes de cada dedo. Esta prótesis mioeléctrica tiene la capacidad de agarrar cosas de manera natural y sencilla (Nisal et al., 2017).

(Nisal et al., 2017) menciona:

Realizar este tipo de investigaciones, ayuda a la sociedad a crear mejores oportunidades para aquellas personas que viven en países en desarrollo, que puedan adquirir este tipo de prótesis.

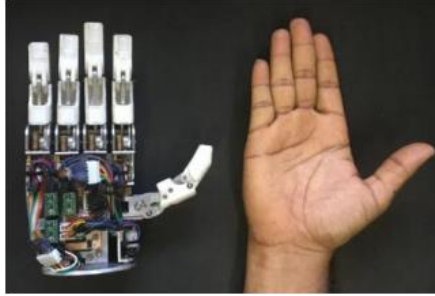


Ilustración 8- prótesis de mano robótica UOMPRO

Fuente: (Nisal et al., 2017)

#### 3.4.1.5 PRÓTESIS DE MANO OCU-HAND

Este es un diseño de una prótesis de mano antropomórfica que tiene como visión generar movimientos como humano gracias a que tiene 5 dedos cada uno con movimientos independientes. Esta construido mediante servomotores en las falanges de los dedos, tiene un tamaño y peso como el de la mano humana. Contiene sensores que le permiten a generar más fuerza en el caso que levante algún equipo pesado este se encarga que aprete más la mano simulando una extremidad humana (Mahmoud et al., 2011)

#### 3.4.1.6 PRÓTESIS DE MANO BEBIONIC

La prótesis de mano Bebionic esta usa un sistema de lazo cerrado para agarrar objetos, este tiene un sensor el cual le permite agarrar objetos y apretarlos más en caso que no se aplique un torque correcto al momento de levantar el objeto. En cada dedo existe un motor el cual le permite generar un movimiento más natural y agarres de varias maneras, dependiendo la persona que tuvo algún problema con la amputación este tiene diferentes tipos de modos para agarrar objetos. La programación de este sistema es bastante avanzada dado que el agarre se puede modificar mediante el software y enviarlo de manera inalámbrica hacia la prótesis. Se puede generar todo ese movimiento desde un celular (O'Neill, 2014).

#### 3.4.1.7 ESTADÍSTICAS SOBRE INCAPACIDADES

El banco mundial estima que existen alrededor de un 15% de la población cuenta con algún tipo de incapacidad, y entre 110 a 190 millones de personas enfrentan una gran incapacidad que no puedan realizar ciertas actividades económicas (*Disability Inclusion Overview*, n.d.).

Se estima que en los Estados Unidos para el año 2050 existirán más de 250,000 amputaciones por año, dado que los estudios del 2005 mencionan que hay 1.6 millones de personas con amputaciones dejando unas 180,000 personas amputadas por año siendo bastante preocupante su incremento (O'Neill, 2014).

### 3.4.2 MICROCONTROLADOR ARDUINO

Los Arduino son sistemas desarrollados basados en programas abiertos para usarse con todo el mundo, este es especialmente reconocido por estudiantes para desarrollar sistemas electrónicos de control. Estos equipos se han desarrollado para creación de controles para la automatización en hogar y se ha llegado hasta la industria automatizada de procesos (Taufiq et al., 2020).

El Arduino UNO es un circuito basado con un micro controlador 328p, todo este sistema está basado para que su desarrollo sea abierto para las personas. Este tiene como concepto utilizar el lenguaje de programación en C para crear los programas (Azizahwati et al., 2019).

#### 3.4.2.1 SENSOR SHIELD

El sensor shield es un dispositivo utilizado como expansión para el Arduino, lo que permite este sistema es poder colocar 32 servos controlándolos en el mismo sistema permitiendo varias comunicaciones en su interfaz, su diseño hace que sea fácil de implementarlo en el Arduino. Esto facilita el cableado de los sensores sin hacer el proceso de colocar más cables en el sistema (J. Liu & Wu, 2013).

### 3.4.3 LENGUAJE PROGRAMACIÓN C#

Los avances en la tecnología nos han brindado la oportunidad de crear diseños y automatizar sistemas complejos. Esto se debe a que se requiere lenguajes de programación para poder sacar ese potencial. Estos programas son más utilizados en los softwares de ingeniería, el lenguaje más popular es el C donde se enseña en todas las escuelas de ingeniería, ya que se utiliza en la computación, electrónica, software y mecatrónica. Aprender este lenguaje C es bastante complejo, su entendimiento en la lógica es algo complejo dado que se necesita saber varios conceptos. Otra parte complicada es que el lenguaje C ocupa una interfaz que también es

complicada de entender, dado que requiere bastante tiempo en el dado que a veces ciertos programas no tienden a compilar (Kyfonidis et al., 2017).

#### 3.4.4 SENSORES

Los sensores son una pieza fundamental en la creación de robots dado que varios sistemas utilizan estos equipos, estos incluyen sensores de visión, censando, fuerza y táctiles esto brinda a un sistema más inteligente. Algunos de estos robots incluyen sensores de fuerza para el torque requerido en el movimiento, otro sensor utilizado en esta industria es utilizar detecciones de movimiento para objetos (Dargahi & Najarian, 2005).

#### 3.4.5 SENSOR EMG

Los sensores EMG [Electromiografía] se encargan de medir la actividad muscular que se genera en el cuerpo, pueden interpretar señales de los dedos y las manos. La manera en que se realiza la salida de los datos es por medio de frecuencias (Ariyanto et al., 2015).

#### 3.4.6 ACTUADORES

Los actuadores son componentes que se usan hoy en día en la robótica, siendo hidráulicos, eléctricos y neumáticos. Convertir la energía tiene un papel fundamental en el desarrollo de estos actuadores, es la principal fuente de poder que estos necesitan para su funcionamiento correcto. Usualmente estas máquinas presentan magnetos o inductores separados, la velocidad se suministra de acuerdo al voltaje necesario de entrada que se entra. Las limitaciones que se consideran en estos equipos son debido a su efecto térmico, ya que el rotor genera demasiado calor en la armadura de la maquina siendo muy difícil la disipación de este motor siendo este de muy poco rendimiento. Se le presenta otro problema y es el control en los sensores que se le coloca a este equipo ya que no tienden a ser de mucha precisión (Femmam, 2017).

##### 3.4.6.1 SERVO MOTORES

Los servos motores se utilizan hoy en día en varios sistemas de control numéricos y principalmente en la industria de automatización. Estos motores son altamente demandantes porque no tienen un conmutador para cambiar de corriente, una estructura bastante simple, un control sencillo. Los servos motores ocupan un microcontrolador para reproducir señales PWM, siendo este un problema para programarlo siendo bastante lento el proceso (Long et al., 2012).

Los servo motores que tienen energía alterna se usan más efectivos en la industria debido al mantenimiento que se les da, es mucho más sencillo, debido a que no cuentan con el conmutador para generar movimientos alternos implica un mejor rendimiento en estos dispositivos (Dursun & Engin, 2018).

#### 3.4.6.2 MOTORES NEUMÁTICOS

Estos motores se usan principalmente en la industria, estos tienen un precio cómodo y de la misma manera un buen peso, el factor importante de ellos es que cuentan con un gran poder, fiabilidad y no se les debe aplicar mucho manejo. Estos de vez en cuando se prefieren adquirir debido a que no son eléctricos. El funcionamiento básico que tienen estos es tener aire comprimido a la disposición, si se dispone de una vida de aire los compresores serán más eficientes que los eléctricos. La limitación que tienen estos es que sus actuadores tienen reducida su movilidad en general debido a que cuando el sistema genera el movimiento existe fricción entre su válvula de entrada y su actuador, siendo muy difícil su precisión y dejándolo no lineal. Debido a que estos cuentan con este grave problema la solución que se ofrece es un control por servo y se logran resultados de fuerza y poder regular su velocidad. De igual forma todavía se limitan muchas aplicaciones en este sistema (Stoianovici et al., 2007).

Los motores neumáticos poseen una gran ventaja en la deflexión, tienen bastante robustez y se le adaptan lo que son actuadores micro neumático en lo que son dispositivos biomédicos y micro robóticos, porque los actuadores grandes tienden a perder su flexibilidad de diseño. Alguno de los actuadores suele atraer más cuando son a pequeña escala. Sin embargo estos actuadores tienen un inflado excesivo que los lleva a una deformación en su módulo de material. Y estos no son compatibles con aquellos a micro escalas, materiales más comunes para los motores neumáticos son aquellos de silicón y parilene. El parilene es un componente usado para que este sea flexible, ya que por veces se pueden llegar a doblar debido a los actuadores (Hu et al., 2019).

#### 3.4.6.3 MOTORES HIDRÁULICOS

Los sistemas hidráulicos utilizan fluidos para poder mover lo que son pistones cilíndricos, estos se forman debido a la energía que se genera por la bomba, mediante tubos que hacen que fluya líquido donde se va utilizar. Estos se usan en la mayoría de veces en áreas de excavaciones,

sistemas para elevación, máquinas de inyección. La gran ventaja que estos contienen es que tienen una gran potencia con pocos componentes. Tienen un posicionamiento bastante preciso y debido a que los líquidos son incomprensibles se le pueden adaptar válvulas de control de esta manera tener una buena regulación de fluido y control. Su gran desventaja es que provocan accidentes por fugas de líquidos y por sus grandes presiones que estos conllevan. Estos sistemas se utilizan mediante componentes electrónicos ya sean electroválvulas, solenoides y la programación de estos componentes es median un PLC [Control Lógico Programable] de esta manera poder programar su lógica para la implementación de ellos (Solé, 2012).

### 3.4.6 MECANISMOS

Las maquinas ocupan mecanismos complejos que los ayudan a funcionar. La mayoría de los instrumentos que conocemos en nuestra vida, como un desarmador, tijeras, tienen una función como mecanismo. El termino de maquina se refiere cuando se juntan los mecanismos para hacer funcionar una máquina. Los sistemas básicos están formados por varios elementos para que logren su funcionalidad (Sclater, 2011).

#### 3.4.6.1 TIPOS DE MECANISMOS

Los sistemas más comunes que se encuentran son los sistemas de poleas, estos tienen la ventaja que al momento de hacer un esfuerzo el operario tenga un menor esfuerzo debido que esta se distribuye de diferentes maneras. De esta manera hace que el sistema se vuelva más eficiente levantando menos peso.

Las palancas son sistemas que se utilizaban desde la era de piedra de esta manera se es que se aplique fuerza en el final de cada extremo, la función es que exista un esfuerzo en la parte de abajo de las palancas haciendo un soporte, ya que cuando el sistema se logre levantar lo que sucede es utilizar menos fuerza para levantar objetos.

Los engranajes son sistemas que tienen una especie de dientes en forma de circulo, se usan para transferir movimiento de una parte hasta otra. Estos son conocidos como engranajes de tren, también se utilizan para transferir movimiento viceversa. Su uso es para cambiar la velocidad de los objetos, su dirección, orientación y su torque. Si el engranaje tiene la misma cantidad de dientes que el otro esto significa que se moverán a la misma velocidad, pero si uno



de ellos tiene más dientes se moverá más lento, dejando el engranaje más pequeño moviéndose más rápido (Sclater, 2011).

### **3.5 ELECTROMIOGRAFÍA**

Los sistemas EMG [Electromiografía] son señales que ocurren en los músculos, estos funcionan para determinar problemas que existen en las personas que recientemente ocupan alguna rehabilitación. Cada humano tiene una señal EMG y estos en la actualidad se estudian para hacer controles de manos artificiales, como una prótesis que utiliza este tipo de señales. Estos electrodos se colon en la parte de abajo del antebrazo para la adquisición de datos (Putra et al., 2019).

Las interfaces mioeléctricas son utilizadas en el campo de las prótesis robóticas en la mano, por el momento no se ha comprobado científicamente el uso de ellas en las piernas. Muchos dispositivos en el mercado no utilizan una alta complejidad en sus sistemas, pero la electromiografía se ha propuesto a dar un mejor control para las prótesis de mano. Estas señales se han utilizado en las rodillas, pero no es apto para estas situaciones por sus señales que no son estables (Ivan et al., 2019)

#### **3.5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS**

Las señales se adquieren cuando el musculo de una persona hace un tipo de contracción, según la cantidad de movimiento que se genera en esa área varia la adquisición de datos. Cuando una persona pierde una mano, la única parte que puede funcionar a ayudar con una prótesis es con los bíceps ya que esos envían señales que pueden ser adquiridas por estos sensores (Neelum et al., 2019)

Para poder recolectar datos se necesita un sensor EMG, estos se necesitan conectar a un microprocesador usualmente un Arduino con un cable a la laptop. Estos dispositivos utilizan superficies de electrodos al sensor (Putra et al., 2019).

El siguiente paso es mover las manos generando un movimiento para cerrar y abrir las manos, flexionando las manos en todos lados para adquirir sus frecuencias (Nisal et al., 2017).

### 3.5.2 ANÁLISIS DE DATOS Y PROCESAMIENTO

Para recolectar datos con los sensores EMG [Electromiográficos] se necesita un programa especial como MATLAB para el procesamiento y lectura de los datos en estos sistemas. En la ilustración 9 se observa la posición donde se colocan los sensores Electromiográficos y puede variar según los músculos que se desea estudiar. Cada vez que los sensores presentan actividades en los músculos estos los envían como valores numéricos para después dar una guía en una gráfica. Cada vez que se ve una subida en las gráficas es cuando se detecta las señales. Las señales electromiográficas al momento de ser procesadas por algún sistema estas contienen mucho ruido y disturbios, para se necesita un mejor estudio más avanzado para su debida descomposición. Para utilizar estos datos se necesita un programa debido a que no se pueden utilizar. ANN es un equipo que se puede utilizar ya que este tiene la mejor precisión al momento de procesar este tipo de información con más efectividad (Neelum et al., 2019).

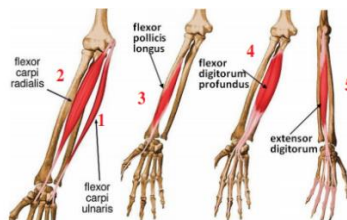


Ilustración 9- Posición del sensor EMG en los músculos

Fuente: (Ju et al., 2013)

### 3.5 .3 APLICACIONES

Los sensores Electromiográficos se utilizan en bastantes áreas del músculo, más que todo para tratar enfermedades de este tipo, también tienen que variar según el tipo de musculo que se tiene. El más grande trabajo que este tiene es en el área de la biomecánica, donde se tienen problemas físicos y se requiera de rehabilitación en esas áreas ya sean con problemas de posturas o no se tenga cierta movilidad en los músculos. Otro campo de aplicación donde se utiliza es el área de deporte donde se usa para evaluar la actividad física de atletas (Darak & Hambarde, 2015).

## IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología de investigación a implementar utilizando la metodología en V, brindando una descripción breve pero detallada del funcionamiento del proyecto a realizar y procesos de construcción de la prótesis robótica.

### 4.1 ENFOQUE

El proyecto tiene como enfoque cualitativo, se toman manos robóticas que ya han sido creados por diferentes proyectos, siempre buscando resolver el mismo problema que ellos proponen. Para el presente desarrollo del robot se debe implementar lo que es la programación y la fabricación de este equipo para garantizar el funcionamiento adecuado de este prototipo. Este tiene carácter cuantitativo, se empleará la metodología en V, empleando todos los componentes mecánicos, controles y electrónicos para que la prótesis de mano sea eficiente y durable.

### 4.2 VARIABLE DE INVESTIGACIÓN

Las variables de Investigación definen los parámetros que van en el desarrollo de este proyecto, así como en la imagen tenemos nuestras variables dependientes e independientes con la prótesis de mano robótica.

En la Ilustración 12, se observan las variables dependientes e independientes, y como principal tenemos la variable de su diseño y construcción de prótesis para mano ya que es lo principal que trata el desarrollo de esta investigación, las independientes que pueden variar según la variable dependiente. Luego tenemos el desplazamiento que debe realizar el mecanismo para su debido movimiento, como su ángulo de movimiento. Que componentes son los más adecuados para la creación de la construcción para tener en cuenta el menor peso posible y que este sea más efectivo. La lectura de datos análogos por parte del sensor si existe alguna variación en él, la estructura ya que sería la rigidez de este, como sus materiales y que sea lo mas transportable para una persona

Para el diseño de la prótesis robótica, entre más peso y volumen tenga este equipo puede ser afectado directamente a la movilidad de las piezas mecánicas de los dedos de la prótesis. Entre

menos componentes y livianos podríamos llegar a generar un movimiento eficiente sin problemas. Dependiendo de la lectura de datos musculares puede afectar el movimiento preciso de los mecanismos con el servo motor.

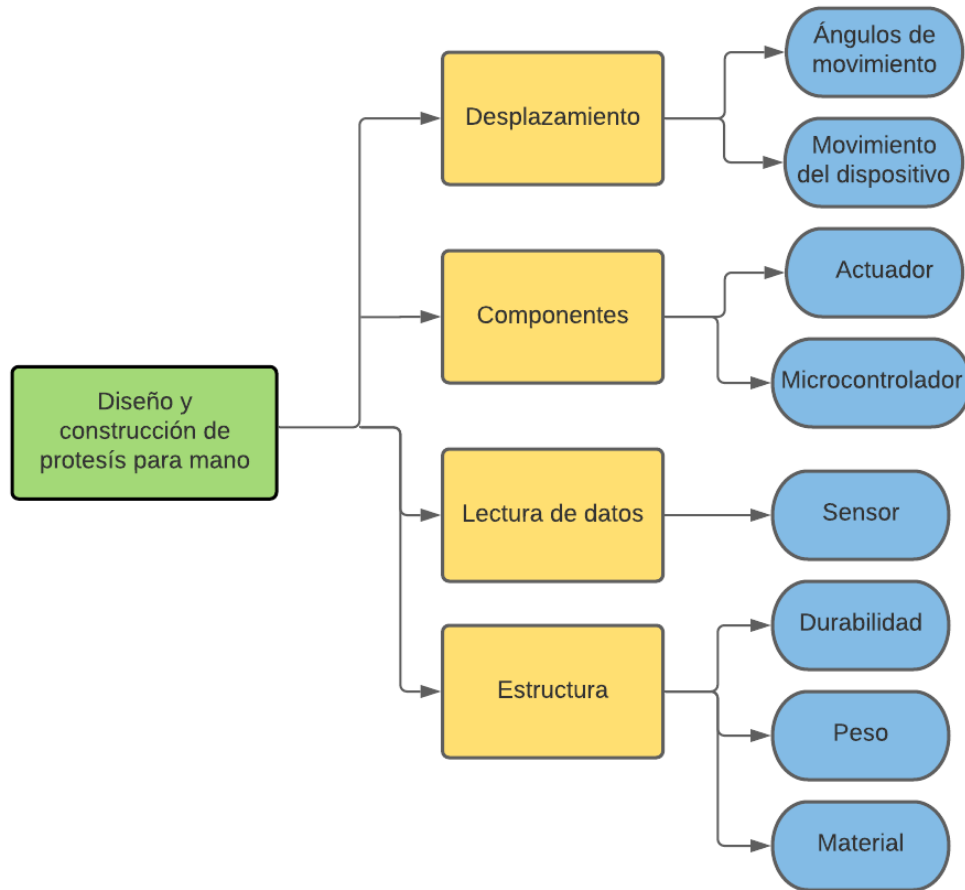


Ilustración 10- Variables de la Investigación

Fuente: Propia

#### 4.3 HIPÓTESIS

El prototipo de la prótesis de mano utilizando señales EMG logra realizar movimiento independiente en los dedos.

#### 4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para llevar a cabo el proyecto necesitare recurrir a métodos y herramientas para la creación de la prótesis robótica. Para realizar la estructura del robot se requiere de la impresión en 3D de

las piezas en PLA pensando en que la creación sería a partir de materiales de Honduras y de igual manera el componente con más resistencia y menor costo posible. Cada una de las partes, mecanismos y diseños en los cuales está estructurada la prótesis robótica fueron realizados con el programa de CAM, SolidWorks.

El programa necesario para la creación de este prototipo fue necesario el uso de SolidWorks Cam ya que nos permite la creación en 3D de un prototipo para poder crear específicamente las medidas de cada mecanismo y el ensamblaje de la estructura final con todos sus mecanismos.

Para la programación recurrimos al programa Arduino para realizar los códigos, que tenga su lógica funcional y ser ingresado al microcontrolador Arduino. Para la obtención de datos EMG se utilizará el programa MATLAB debido a que este nos deja obtener datos de frecuencia las cuales se obtendrán pruebas mediante las contracciones musculares de la persona.

#### 4.5 MATERIALES

Se muestra a continuación la lista de los materiales que se escogieron para la creación del robot, así como las mejores opciones que se encuentran en el mercado basado en simulaciones para la creación de este proyecto.

##### Motores

Tabla 1. Motores para sistema de movimiento

<b>Modelo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Potencia</b>
Servo Motor	5V	100 RPM	5W
Motor DC	6V	2000 RPM	6W

Tabla 2. Material para estructura de prototipo

<b>Modelo</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Durabilidad</b>
ABS	40 - 80	Alta
TPU	60	Alta
PLA	55 - 70	Media

Tabla 3. Fuente de alimentación

Modelo	Voltaje	Amperaje	Costo
Baterías 9v Pricesmart	9V	500mAh	L. 30.64
Baterías 9v Recargables Amazon	9v	200mAh	L. 124.875

Tabla 4. Sensor Electromiografico

Modelo	Voltaje	Precio
Sensor de actividad muscular EMG	18v	L. 1,150
MyoWare Sensor de actividad Muscular	5v	L. 1,500

Tabla 5. Microcontrolador

Modelo	Lenguaje de Programación	Gama
Arduino	C	Media
PIC18	C	Media

Tabla 6. Placa para servo

Modelo	Voltaje	Conexión de Servos	Precio
Sensor Shield V5	5V	6 servos	L. 155
Motor Shield	12	2 servos	L. 375

#### 4.6 ALCANCE DEL PROYECTO

En el alcance del proyecto es la parte donde se desarrollará mecanismos para el movimiento de dedos de forma independiente, accionar estos componentes mediante señales EMG, utilizar software de SolidWorks para el diseño de sistema mecánico.

#### 4.7 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para la creación de este proyecto se usará la metodología en V, ya que está enfocada en el proceso de diseño y desarrollo del proyecto. Siendo importante el proceso del diseño y permitiendo ver los aspectos más importantes como ver sus deficiencias y una integración de los

sistemas que forman la rama de mecatrónica, siendo mecánica, programación y control. Se hace un estudio general de todo el sistema mecatrónico e integrando cada componente para crear una funcionalidad en el dispositivo.

**ETAPA INICIAL REQUISITOS DEL SISTEMA**

Diseñar una mano robótica con la capacidad de generar movimientos a partir de señales eletromiograficas, con esto moviendo los servo motores que están ubicados en los dedos de la mano.

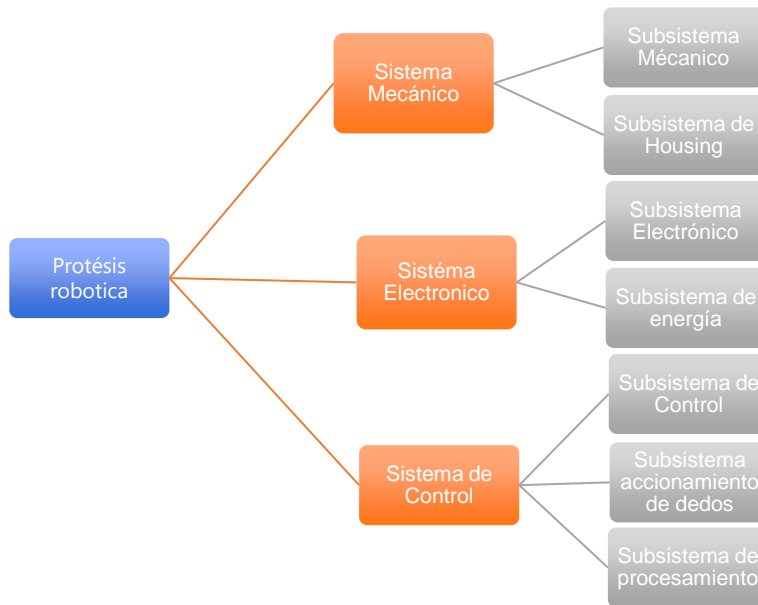


Ilustración 11- Niveles de los subsistemas

Fuente: Propia

Ciclo A de la metodología “V”

**ETAPA 1: NIVEL DE SISTEMAS.**

A. SISTEMA MECÁNICO

Se necesita la fabricación de una estructura que resista el peso de los componentes mecánicos y eléctricos, se obtuvo el diseño base para la estructura de la prótesis, el movimiento mecánico de la mano robótica. Se tomaron en cuenta los factores de los cuales depende el funcionamiento eficiente de la prótesis y se busca la mejor manera para realizar, tomando en cuenta el peso de los materiales, costos y el funcionamiento basado en las simulaciones de movimiento en SolidWorks.

## B. SISTEMA ELECTRÓNICO

Por medio de lecturas análogas se obtuvo la correcta implementación del sensor EMG, enviando los datos del mismo y de la manera más simplificada posible. Realizando la correcta recepción de datos con el microcontrolador, luego controlando el funcionamiento de la mano robótica por medio de los actuadores recibida por este sensor. Como componente utilizando el Arduino UNO para su control.

## C. SISTEMA DE CONTROL

Se necesitará un componente electrónico para lograr comunicar varias señales de los servomotores de la prótesis, vinculando de esta manera los servomotores a la placa y el sistema EMG al Arduino para crear una comunicación adecuada para que este funcione de una manera correcta.

## **ETAPA 2: NIVEL DE LOS SUBSISTEMAS**

### A. SUBSISTEMAS MECÁNICOS.

En esta tomamos en consideración todos los componentes para la elaborar las estructuras de la prótesis.

1. Subsistema Mecánico: Este se realizó en CAM por medio de SolidWorks la estructura de la prótesis robótica realizando simulaciones para los respectivos estudios.
2. Subsistema de Housing: Podemos observar en la tabla 2, En este definimos el material que usaremos que será de PLA debido a que este será un prototipo y se busca la funcionalidad mecánica y su diseño correcto. en realidad, se haría de ABS debido a que es un material bastante resistente y se debe realizar con inyección de plástico en un molde, pero el PLA de igual forma es un componente resistente y muy fácil de encontrar con las impresoras 3D en el mercado.
3. Subsistema de Movimiento: Aquí es la parte donde se diseñó el sistema mecánico de la prótesis para generar movimiento en los dedos.



## B. SUBSISTEMA ELECTRÓNICO.

1. Subsistema de accionamiento de dedos: En la tabla 1, se puede observar que se tomó en cuenta el servo motor ya que este contiene un movimiento de 180 grados y 100 RPM implementados con alimentación de 5v para el manejo de los dedos de la prótesis, serán implementados en la estructura de la prótesis previamente realizando simulaciones.
2. Subsistema de Energía: En este subsistema se tomó en cuenta la manera en la cual el sistema funcionara con alimentación de energía por medio de 3 baterías de 9V.

## C. SUBSISTEMA DE CONTROL

1. Subsistema de control por lectura de EMG: De la manera en la cual la persona puede controlar la prótesis esta debe leer los datos del sensor Electromiografico para que de esta manera el microcontrolador reciba las señales para mover los servos.

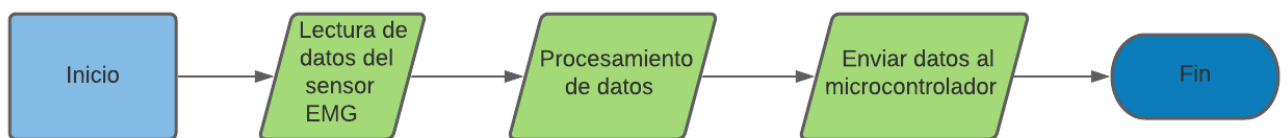


Ilustración 12- Lógica lectura de datos EMG

Fuente: Propia

2. Subsistema Movimiento de la prótesis robótica: En este subsistema se emplea la programación por medio de Arduino la cual permite recolectar los datos de los sensores y enviar señales de salida para los actuadores generando de esta manera el movimiento de los dedos.
3. Subsistema de Comunicación: En la tabla 5, se observa que se tomó en cuenta el microcontrolador ArduinoUNO, implementando la comunicación entre el microcontrolador y la placa para el manejo de los servos.

### **ETAPA 3: REALIZACIÓN DE PARTES**

#### 1. Subsistema partes Mecánicas

Se realizó la estructura de la prótesis de mano evaluando el movimiento de la mano robótica mediante los mecanismos para generar el mejor movimiento por medio del programa SolidWorks, según el material elegido y el menor costo para su fabricación.

#### 2. Subsistema Housing

Los materiales tienen mayor resistencia en este es el ABS, la temperatura a la cual estos son moldeables dejando como punto principal una construcción de alta durabilidad y que este tipo de material no sufra alguna deformidad por altas temperaturas o deformaciones. Para el desarrollo de este prototipo se tomó en cuenta el material PLA para todos los componentes siendo estos óptimos para su construcción de prototipado. Teniendo en cuenta las pruebas para determinar el material correcto del prototipo con ABS ya para su construcción final. Dejando el mecanismo para generar movimiento en los dedos por medio de acoples de tornillos en los mecanismos de los dedos.

#### 3. Subsistema accionamiento de los dedos

Se realizaron pruebas de los componentes electrónicos, realizando pruebas en el programa MATLAB con el fin de evaluar el funcionamiento correcto del mismo. Dejando el mecanismo para generar movimiento en los dedos por medio de acoples de tornillos en los mecanismos de los dedos.

#### 4. Subsistema Eléctrico

En este subsistema se seleccionó el motor para el cual se acopla de mejor manera con el mecanismo siendo este un motor servo el cual posee la característica de girar a 180 grados y tener una velocidad de 100 RPM.

#### 5. Subsistema de energía

Debido a que los componentes necesitan una fuente de alimentación en este caso dos baterías de 9v para el sensor EMG y dos baterías de 9v para el accionamiento de motores se eligieron las baterías de precio más accesible para que pudiera alimentar el sistema.

## 6. Sistema de Control

En esta parte se analiza el tipo de sensor a utilizar, dejando el sensor EMG para la recolección de información de la contracción muscular debido a que ese genera las frecuencias necesarias para el sistema y es el mejor precio en el mercado. Se realizó la programación del sistema, haciendo uso del simulador Matlab para comprobar la recepción de frecuencias ideales y evaluar las distintas señales recibidas.

## 7. Subsistema de Procesamiento

En este subsistema se selecciona el microcontrolador a utilizar con el sistema, siendo este el que más se adapte a estos componentes. El sistema Arduino posee varias entradas digitales como salidas digitales y de igual se coloca el sensor shield para la conexión de más servo motores en el sistema.

### **ETAPA 4: INTEGRACIÓN DE PARTES**

#### 1. Integración Partes Mecánicas

Al momento de integrar cada parte mecánica se realizaron las pruebas para ensamblar los componentes correctamente con el debido soporte, que no tengan ningún inconveniente sin afectar el sistema de movilidad haciendo que se produzca un movimiento de los mecanismos.

#### 2. Subsistema de Housing

En este subsistema se integraron los componentes ensamblándolos para que queden de la manera correcta sin afectar el sistema. Que estas tengan un aislamiento seguro y que no genere problema con los demás componentes eléctricos.

#### 3. Subsistema accionamiento de dedos

En este subsistema se hizo el movimiento de los dedos por medio de los mecanismos para que se este se pueda mover de la manera esperada y que no tuviera ningún inconveniente con los mecanismos.

#### 4. Integración Partes de Control

Se colocaron las conexiones a la placa de los servos y el Arduino para que de esta manera no exista una caída de voltaje en ellos debido a que se necesita que los cinco servos estén funcionando al mismo tiempo adaptando su batería y monitoreando su voltaje en las salidas.

#### 5. Subsistema de Procesamiento

En esta sección se comprobaron los componentes electrónicos para estar listo en su uso y que puedan interactuar con los demás, en esta se colocó la placa de los servos. También se evaluaron las gráficas del sensor EMG para que los actuadores funcionen correctamente debido a que la posición de ellos puede variar y no puede haber una buena recolección de datos.

#### 6. Subsistema eléctrico

En este subsistema se comprobaron los movimientos de los servos, conectado a la placa del Arduino para comprobar el movimiento correcto de estos en los mecanismos.

#### 7. Subsistema de energía

En este subsistema se hizo las mediciones de voltaje en los componentes con la batería para que tuvieran un voltaje correcto para el movimiento de los dispositivos.

### **Etapas 5: Integración de los subsistemas**

#### 1. Integración subsistema mecánico

Se verifico que la estructura de la mano robótica no sufra algún tipo de problemas por ser sometidas a pruebas para que funcione correctamente.

#### 2. Integración subsistema de housing

En este se verifico el material escogido para que esta estructura tenga soporte a golpes y fuerzas para comprobar su resistencia de él y que sus componentes no interfieran con los demás.

#### 3. Integración de movimiento en dedos.

Se verifico que los materiales y mecánica de la estructura fuera la indicada para realizar las pruebas de movimiento.

#### 4. Integración subsistema de movimiento electrónico

Se verifico que la integración de los motores tuviese las conexiones correctamente y que tengan un funcionamiento correcto para que estos puedan generar movimiento con su estructura.

#### 5. Integración Subsistema Sensor EMG

En esta sección de subsistema se comprobó la conexión del sensor EMG para que tengan una conexión adecuada y registre los datos para ser procesadas y ser leídas por el microcontrolador para mover los servos.

#### 6. Integración subsistema de comunicación

Se integraron todos los componentes para que exista una comunicación de forma correcta y que exista una comunicación a la computadora para verificar sus estados.

#### 7. Integración de control para el sensor EMG

Se verifico la conexión con el microcontrolador y el sensor para que este tome lecturas y este generando datos en el monitor de serie para que este trabaje de manera correcta y eficiente.

#### 8. Integración Control de Movimiento de la prótesis

Se verifico que la programación este correcta entre el sensor y la placa para que exista movimiento con los actuadores.

### **ETAPA 6: INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS**

#### 1. Sistema Mecánico

Se integro la estructura física de la prótesis robótica con los mecanismos correspondientes y de esta manera observar el comportamiento que tiene con los demás componentes.

#### 2. Integración Sistema electrónico

En este se integra la placa para que el sistema pueda funcionar y conectando todo lo demás y verificar que todos los cables están funcionando de manera correcta.

#### 3. Integración Sistema de Control

Se desarrollo en el lenguaje C en un microcontrolador Arduino para que este pueda realizar los movimientos correspondientes de la mano robótica recibiendo las señales del sensor EMG.

#### ANÁLISIS DE RIESGOS MECÁNICOS

La estructura de la prótesis de robot está compuesta de componentes bastantes resistentes, pero al momento de poder andar los componentes es muy probable que se pueda dañar el mecanismo de los dedos dejando de esta manera inmóvil el sistema.

#### ANÁLISIS DE RIESGO DE CONTROL

Existe la posibilidad que el sistema pueda perder energía debido a que utiliza 4 baterías de 9v, debido a esto puede perder la energía al momento de quererlo utilizar y es necesario desconectarlo. De la misma manera podría fallar el microcontrolador y es necesario subir la programación al sistema.

#### ANÁLISIS DE RIESGO ELECTRÓNICOS

Estos componentes son bastantes frágiles y pueden ser afectados en caso de un golpe o jalar un cable provocando que la prótesis falle.

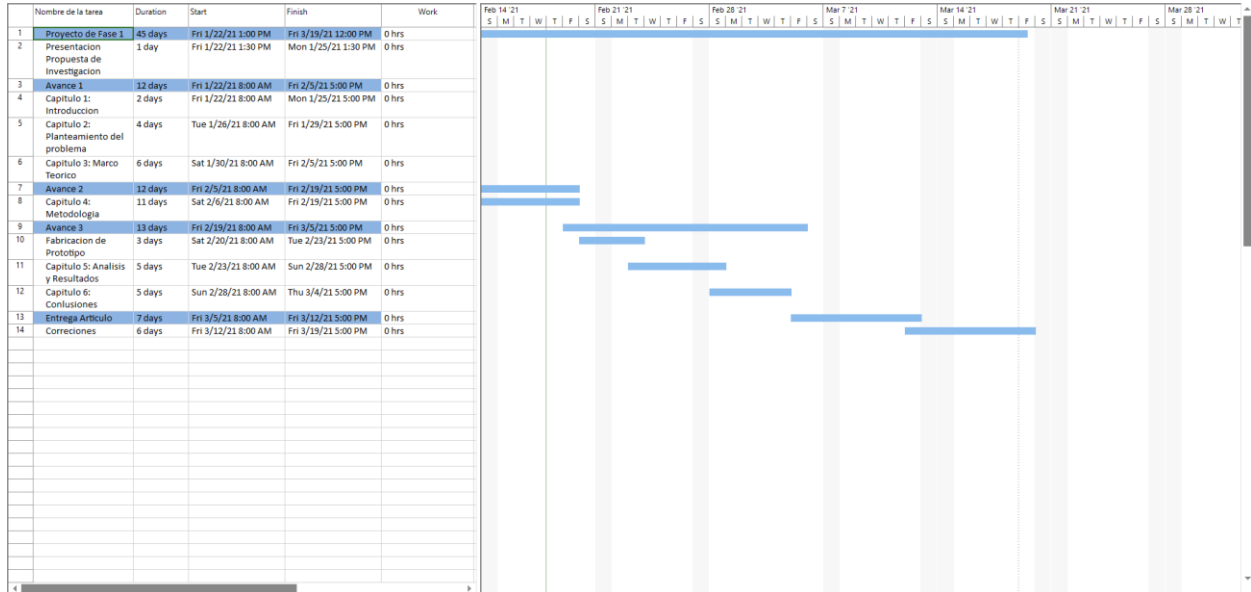
#### METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Se realizaron pruebas después de fabricar el robot y determinando que este prototipo sea eficiente y que esté completamente funcional. Este equipo está determinado a mover partes de sus dedos siendo este un equipo más eficiente que las prótesis tradicionales que se conocen. Y una vez terminado la fabricación y programación se estarán llevando a cabo las respectivas pruebas para conocer su funcionamiento correcto.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma a continuación son las actividades que se realizaran en el transcurso del periodo.

Está basado en las tareas a entregar y fechas.



## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE METODOLOGÍA EN “V”

Ciclo A de la Metodología en “V”

Etapa I: Nivel de Sistemas

1. Sistema Mecánico

Se definió utilizar el material PLA para la construcción de la estructura en general, se decidió analizar la estructura del mismo en SolidWorks, pero con un diferente tipo de material para su uso, para que estos sean más funcionales al diseño. Estos materiales con la idea que se puedan adquirir en Honduras en un precio bajo, estos materiales fueron ABS y de PLA dado que estos tienen buenas propiedades físicas y se producen fácil, pero a un costo más alto.

Se realizaron pruebas de von Mises y de desplazamiento con una fuerza máxima de 400N, estas fueron hechas para conocer el peso que son capaces de soportar, tomando en cuenta los componentes ABS Y PLA y de esa forma comparar los diferentes tipos de materiales tomando en cuenta que la impresión en 3D fue hecha en PLA.

Material	ABS	PLA
Tensión máxima de von Mises	1.291e+06 N/m <sup>2</sup>	2.588e+08 N/m <sup>2</sup>
Tensión mínima de von Mises	5.316e+00 N/m <sup>2</sup>	1.066e+03 N/m <sup>2</sup>
Desplazamiento máximo	8.730e+00mm	5.018e+00mm
Desplazamiento mínimo	0.000e+00mm	0.000e+00mm

Tabla 7. Resumen de Resultados con material ABS Y PLA

En la tabla 7 Se observan los resultados que se realizaron al momento de aplicar esfuerzos de 400N en la mano ya que es un peso en el cual no siempre estaría expuesto a ese tipo de esfuerzo. Se desarrollo de igual manera un estudio en ABS, siendo un material más resistente, pero más complicado de desarrollar. Por lo que este prototipo se realizó en PLA por el fácil acceso y bajo costo. En comparación con el material PLA y el ABS las diferencias rondan en que el ABS podría llegar a soportar un peso inferior pero el PLA tiene un mayor soporte a la temperatura.



En la ilustración 13, Se observa una prueba realizada en el material PLA el von Mises Stress estrés con una máxima de  $2.588e+08 \text{ N/m}^2$ ,

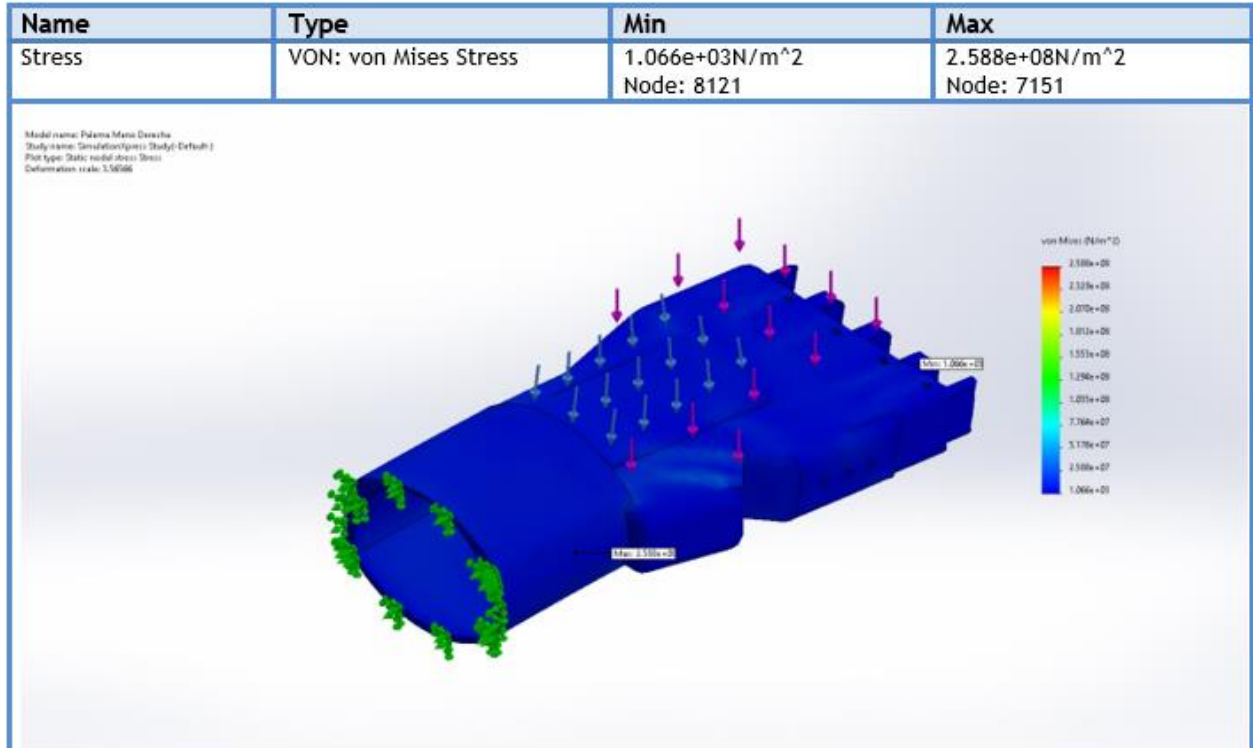


Ilustración 13. Prueba de von Mises Stress: PLA

## 2. Sistema Electrónico

En esta parte se definieron los componentes electrónicos los cuales permiten la función del sensor del sistema, su batería y su sensor shield del mismo para que de esta manera este funcionamiento se integró.

## 3. Sistema de Control

Se definió el uso de un microcontrolador Arduino UNO, este va ejecutar los movimientos lógicos que se le ordenaran al sistema mediante la recepción de señales del sensor hacia los motores. El uso de este microcontrolador es de alta confianza teniendo en cuenta que será utilizado en un ambiente adecuado.

### 1.1.1.1 Etapa II: Nivel de Subsistemas

En esta etapa se analizan los subsistemas que componen el proyecto siguiendo los sistemas anteriores y los resultados que estos brindan al implementarlos.

1. Subsistema de Housing: la estructura de housing se obtuvo mediante la impresión de la palma de la mano en una impresora 3D, esta sección está formada con aberturas para colocar los demás componentes formados
2. Subsistema de Movimiento: En esta parte es donde se integran los mecanismos de los dedos para formar una articulación con tornillos entre sí para formar un movimiento con los dedos y una unión a la palma de la mano
3. Subsistema accionamiento de dedos: Para esa parte fue necesaria la implementación de 5 servo motores que están colocadas en un sensor shield para tener la función de esos motores en un solo Arduino
4. Subsistema de Energía: El sistema para controlar los servos necesita una fuente de 9v directamente para brindar la alimentación a los motores como al Arduino.
5. Subsistema de Control
6. Subsistema de control por lectura de EMG: aquí se integra un componente en el cual está encargada de leer contracciones musculares cuando se detecta un movimiento en él.
7. Subsistema movimiento de la prótesis robótica: Aquí se hace el uso de programación en lenguaje C para que el movimiento sea controlado por medio de la lectura del sensor y generar el movimiento con el servo motor
8. Subsistema de Comunicación: Integra lo que es el microcontrolador Arduino con la programación establecida para realizar el control de los servo motores.

### Etapa III. Realización de las partes

#### 1. Partes Mecánicas

La estructura se realizó a partir de SolidWorks para colocar los componentes mecánicos, comprobar el funcionamiento y su adaptación en cada parte. Colocando las entradas para los servo motores como sus piezas individuales con las adaptaciones de las articulaciones para comprobar la mano completamente hecha con el material establecido.

#### 2. Subsistema de Housing

Los elementos básicos de la prótesis de mano es una estructura creada a partir de una impresión de 3D con un material PLA, la cual está hecha a un tamaño adecuado para ser estable y con excelente durabilidad. El chasis de la palma de la mano tiene bastantes áreas para el

montado de los diferentes mecanismos. Cada elemento tomado en consideración ya que el peso es una de las cuestiones que deben tomarse en cuenta, también el costo de las mismas y la durabilidad que debe tener.

Se realizó un estudio en SolidWorks de acuerdo a su diseño donde se le colocaron las partes de los dedos como sus debidos mecanismos para realmente conocer el prototipo funcional del mismo.

Se hicieron pruebas de esfuerzos con el programa SolidWorks SimulationXpress en diferentes tipos de materiales, ya que este tipo de prototipaje fue hecho con material PLA y se realizó con ese material debido al costo que es más bajo que un ABS, dado que el PLA es resistente a caídas y con un desplazamiento de  $5.018e+00$ mm. La mayor parte de las articulaciones fueron ensambladas con tornillos y clavos.

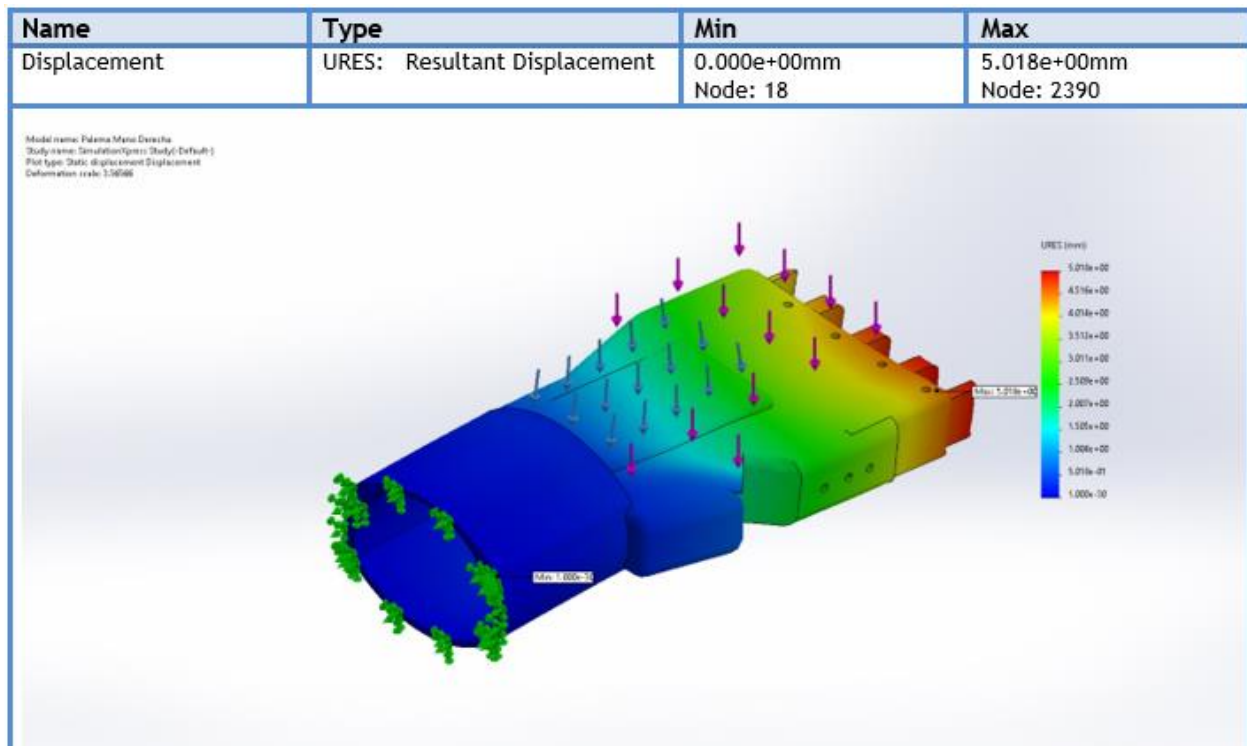


Ilustración 14. Prueba de desplazamiento: PLA

Fuente: Propia

Se realizó una prueba de desplazamiento asumiendo que todo el material de la prótesis sería de ABS, este material es bastante utilizado y se puede adquirir en el mercado, pero a un precio bastante elevado en comparación al PLA ese es cuando los componentes requieren ser más demandantes. Pero el resultado de este fue material con 400N con las pruebas de von Mises

Stress ya que soportaría un peso de  $2.588e+08 \text{ N/m}^2$  siendo mayor que el ABS, Pero soporta temperaturas más bajas.

Fuente: Propia

Se realizaron las pruebas con SimulationXpress en SOLIDWORKS, para el material más adecuado para este tipo de construcción se realizó con material PLA siendo este más resistente que el ABS debido a que el desplazamiento es bastante elevado y podría generarse una quebradura en el prototipo, se realizó con materiales fáciles de conseguir en el mercado y teniendo costos accesibles.

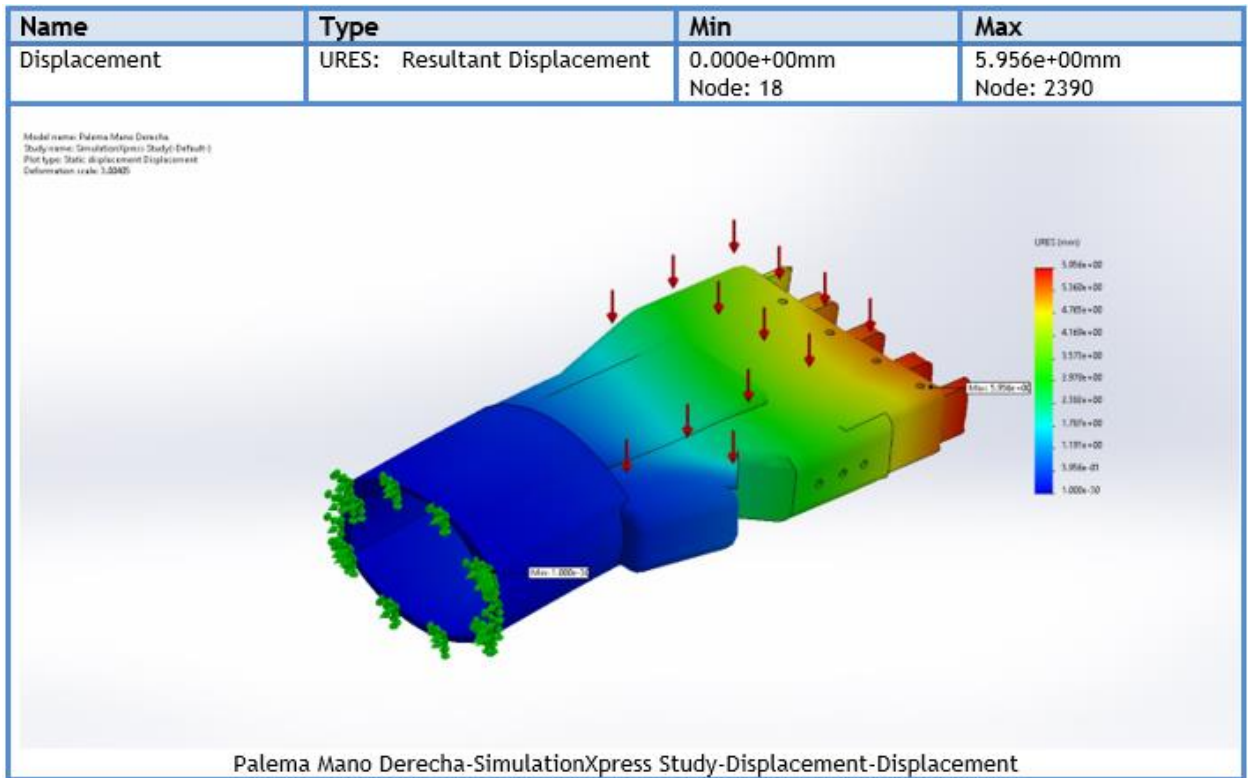


Ilustración 15. Prueba de desplazamiento: ABS

Fuente: Propia

En esta prueba de SolidWorks SimulationXpress resulto bastante eficiente, se analizó que podría soportar el peso de todos los componentes y mecanismos soportando un desplazamiento bastante elevado. Pero a medida que podría pasar el tiempo podrían generarse fisuras en la mano si no se le tiene mucho cuidado, pero lo importante es que puede soportar un peso máximo de  $9.631e+07 \text{ N/m}^2$  con una fuerza de 400N realizada en la simulación.

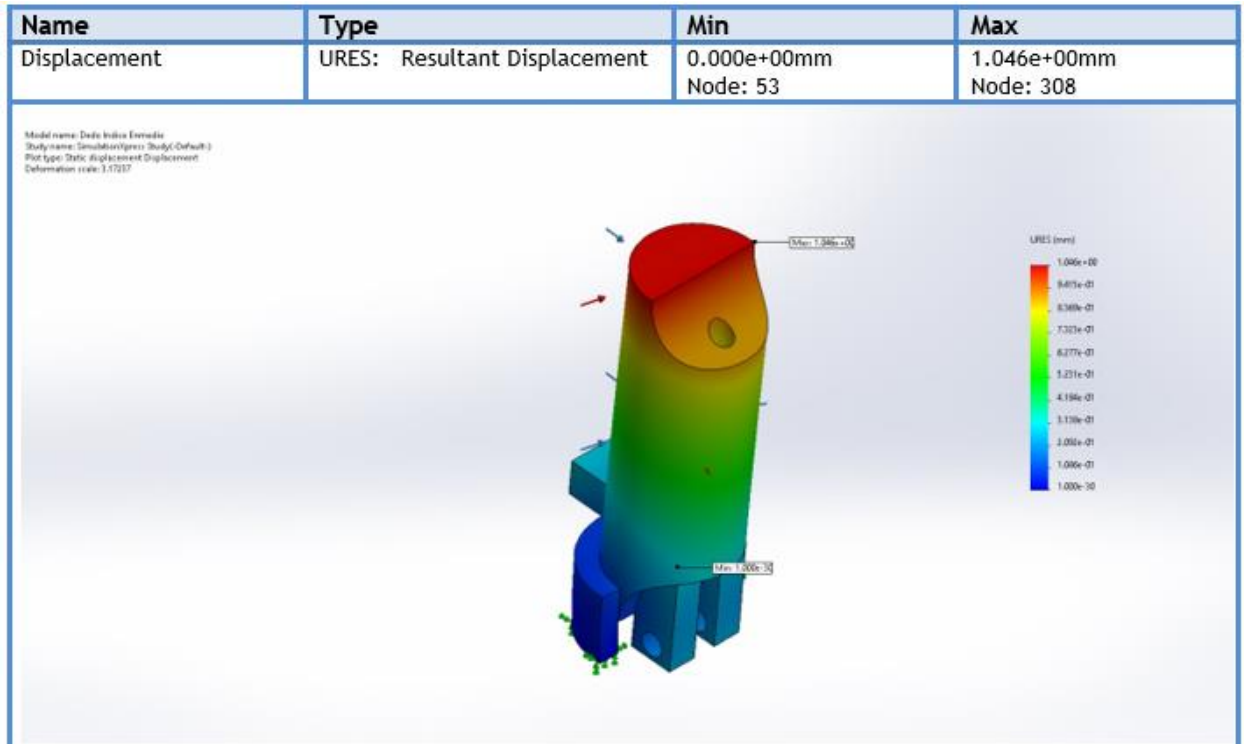


Ilustración 16. Prueba de von Mises Stress: PLA

Fuente: Propia

En esta prueba realizada al mecanismo de los dedos de la mano de la ilustración 17, se comprobó con el material ABS desplazamiento con un máximo de 1.046e+00 mm. Tras analizar estos resultados se confirma que el material más óptimo sería ABS ya que estas partes son bastantes pequeñas y de igual forma la disponibilidad que existe en el mercado como su precio.

En la figura 18 se observa la prueba de von mises stress realizada a la falange medial de la prótesis con el material PLA, teniendo un desplazamiento máximo de 9.631e+07 N/m<sup>2</sup> y teniendo como referencia un movimiento desde la parte inferior.

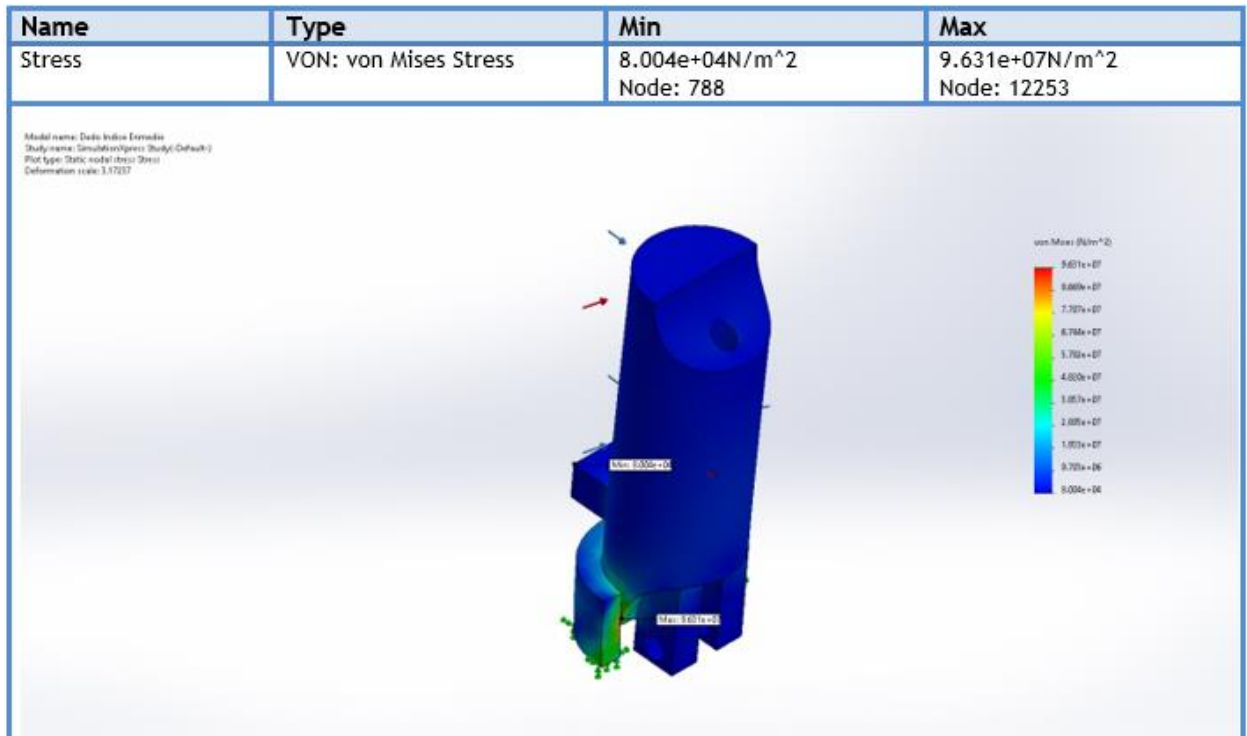


Ilustración 17. Prueba de Desplazamiento Falange Medial: PLA

Fuente: Propia

Material	ABS	PLA
Tensión máxima de von Mises	3.46e+04 N/m <sup>2</sup>	9.631e+07 N/m <sup>2</sup>
Tensión mínima de von Mises	1.331e+07 N/m <sup>2</sup>	8.004e+04 N/m <sup>2</sup>
Desplazamiento máximo	2.698e+00mm	1.046e+00mm
Desplazamiento mínimo	0.000e+00mm	0.000e+00mm

Tabla 8. Comparación Material Falange Medial

Fuente: Propia

En la tabla 8, se observa la comparación de la falange medial con PLA y ABS, resultando bastante diferencia con las tensiones de von Mises Stress siendo el PLA con una resistencia de diferencia de 9.631e+07 N/m<sup>2</sup> siendo mayor en el PLA.

### 3. Subsistema accionamiento de los dedos

En este proceso se realizó la prueba para leer lecturas análogas del sensor, las cuales resultaron exitosas y de esta manera poder crear un mecanismo para color en los dedos la cual colocar el servo motor y que el sensor pudiera enviar la información recolectada hacia el microcontrolador generando movimiento en los servo motores.



Ilustración 18. Renderizado de mecanismo de dedos para la prótesis de mano

Fuente: Propia

### 4. Subsistema Eléctrico

En el sistema eléctrico se incorporó los servos motores a la mano ya que este se le pueden programar diferentes ángulos a los que el sistema este girando y debido a esto se decidió implementar este servo motor

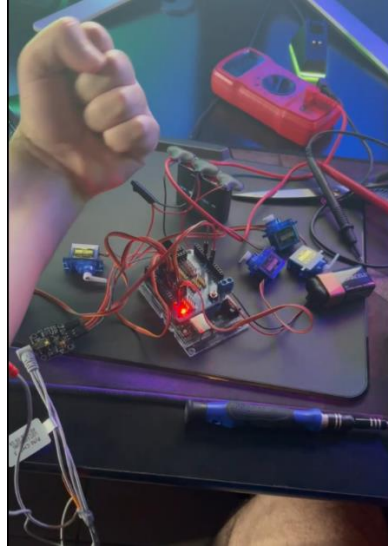


Ilustración 19. Conexión de sensor y pruebas de motores en el microcontrolador

Fuente: Propia

#### 5. Subsistema de Energía

Se colocaron 2 baterías de 9V al sensor Electromiografico debido que su voltaje adecuado para recibir señales es de 18V. Al sistema que se encarga de controlar la energía de los dispositivos se utiliza una batería de 9v debido a que con los 5v que recibe el Arduino de la computadora existe una caída de voltaje siendo imposible el movimiento de los 5 servo motores.

#### 6. Sistema de Control

Se realizo la prueba del sistema EMG para la lectura de datos y verificando las pulsaciones que este generar para poder programar el movimiento de los dedos.

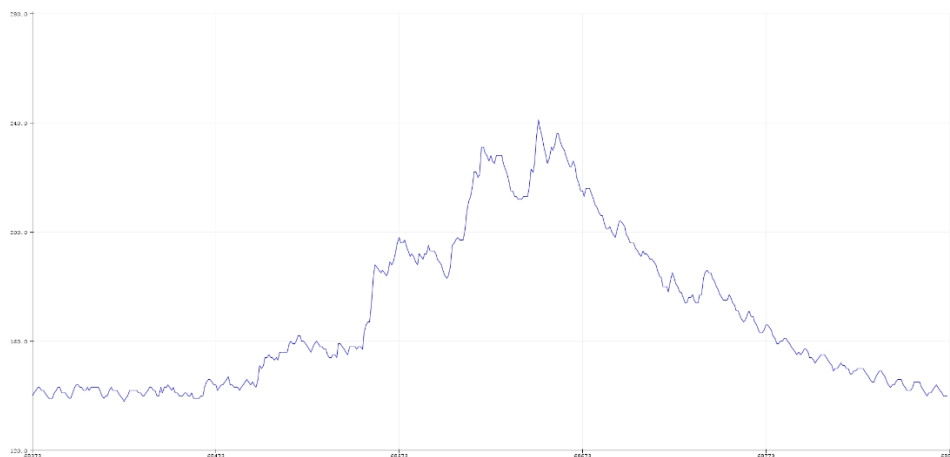


Ilustración 20. Lectura de señales eletromiograficas



Fuente: Propia

En la figura 19 se puede observar un pico al momento de generar una contracción en los músculos. Al momento que se genera un movimiento para cerrar la mano se elevan los Hertz de la lectura análoga del sensor.

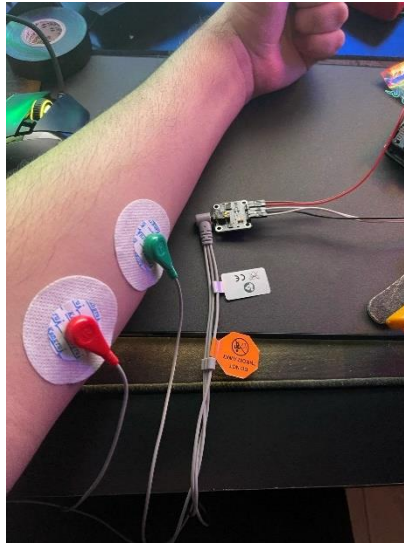


Ilustración 21. Sensor EMG en antebrazo

Fuente: Propia

Al momento de colocar el sensor en el antebrazo y generamos un movimiento de abrir y cerrar la mano se genera un pico en la gráfica de la ilustración 20, cuando está abierta la mano este se mantiene a un nivel bajo y cuando se cierra ya que se contrae el musculo se genera el pico de los Hertz producido por el sensor, siendo este una lectura exitosa del sensor y se procede a acoplar este sistema con los motores.

## 7. Sistema de Procesamiento

El subsistema que se utilizó fue el microcontrolador Arduino ya que el sensor Electromiográfico más común que se encuentra en el mercado está diseñado para Arduino y las lecturas que este realiza con análogas. Brindando salidas digitales para accionar los servos motores mediante la programación.

### Etapa 4: Integración de partes

#### 1. Integración de partes mecánicas

Se realizó el diseño del sistema con sus mecanismos correspondientes llegando a un prototipo final, principalmente tomando en cuenta su tamaño y los elementos económicos, se

realizó la investigación de los materiales correspondientes. De esta forma se decidió crear el prototipo basado en PLA físicamente y en el renderizado tiene un material de metal.

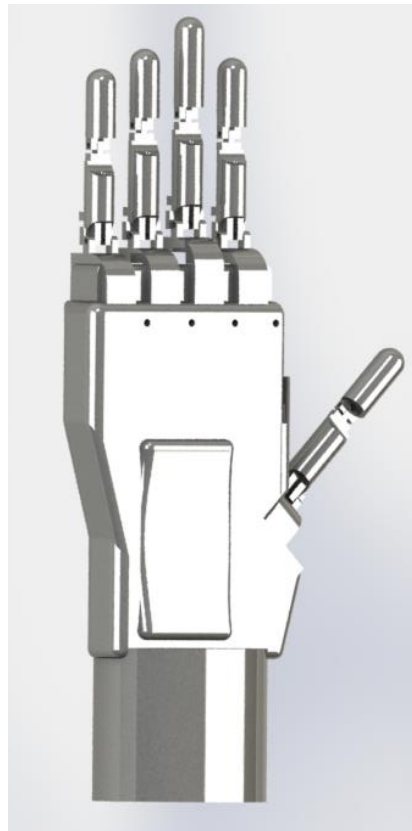


Ilustración 22. Renderizado de estructura de la prótesis

Fuente: Propia

Como se puede apreciar la mano tiene formada de acuerdo a una mano normal humana con sus medidas. Se realizaron las debidas pruebas al someter las partes de esta mano en materiales para comprobar la resistencia de esfuerzo y de desplazamiento. Todas estas se acomodaron a un presupuesto accesible ya que el material la cual fue creada es de PLA, pero es altamente resistente al ser sometida a la construcción.

## 2. Subsistema de Housing

Se realizo un diseño que tuviera la capacidad de guardad los componentes electrónicos presentes en el proyecto. Esta es la parte donde se coloca el mecanismo del servo. Este mecanismo fue creado a partir de material PLA y con aberturas de 2mm de tornillos para poder ser asegurados con el diseño de las falanges mediales. Contiene un espacio interno para poder hacer el acceso

de cables de manera fácil debido a que este sistema requiere de varios motores y el uso de baterías en el sistema.



Ilustración 23. Diseñó palma de mano de la prótesis de mano

Fuente: Propia

### 3. Subsistema accionamiento de dedos.

En la figura se puede apreciar el mecanismo utilizado para la creación del movimiento de los dedos de la mano. Se pueden apreciar las articulaciones que esta diseñadas para que el sistema pueda tener la habilidad de flexionar el dedo de en medio la parte inferior tiene el sistema para colocar el servo lo cual esta atornillada al sistema y ser colocados internamente en la estructura de la mano. Esta estructura fue diseñada con el programa CAD de SolidWorks.



Ilustración 24. Renderizado de mecanismo de dedos para la prótesis de mano

Fuente: Propia

Para la integración de los dedos en el mecanismo se necesitó crear una parte del dedo para crear el agarre con el mecanismo y el servo en el sistema, este este compuesto con un agarre donde está ubicado el servo motor. Luego este tiene una parte lisa en la parte superior donde se le coloca un mecanismo para generar un agarre con la parte superior de los dedos ya que esta parte es donde esta una articulación humana.

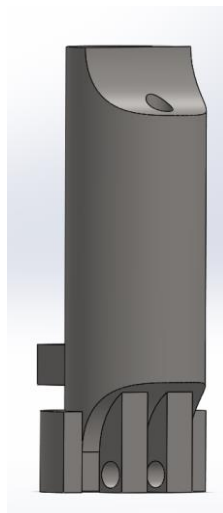


Ilustración 25. Diseño de falange medial

Fuente: Propia

Para poder crear movimiento en los dedos, se diseñó un mecanismo el cual se pudiera acoplar a un servo motor y luego a otro mecanismo para que pudiera generar movimiento de

empuje para enfrente de los dedos. Este es acoplado mediante tornillos de 2mm al otro mecanismo de la prótesis.



Ilustración 26. Diseño de mecanismo para accionamiento de dedos

Fuente: Propia

Se realizaron diseños de piezas para colocar los servomotores y de esa manera que los motores tuvieran donde colocarse, también colocando un mecanismo de agarre para sujetar las falanges mediales de la mano. Este mecanismo es colocado en la palma de la mano.

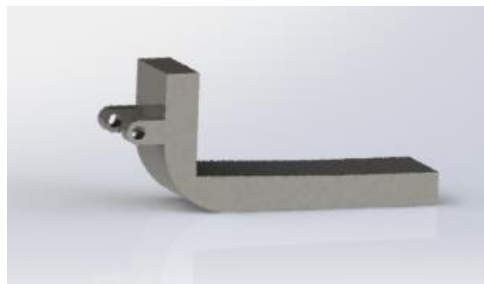


Ilustración 27. Diseño de acople para servo motores

Fuente: Propia

Se realizo el diseño para un acople simulando una articulación de un dedo, debido a que la mayoría de impresoras 3D cuentan con una impresión máxima de 2mm fue necesaria la creación de un acople el cual pudiera sostener un la falange medial y la falange superior. Debido a esto se crearon de forma independiente ya que crear el mecanismo interno en cada dedo es imposible ya que si se imprime puede salir mal y fue necesaria la creación de estos acoples para luego ser atornillados entre sí.

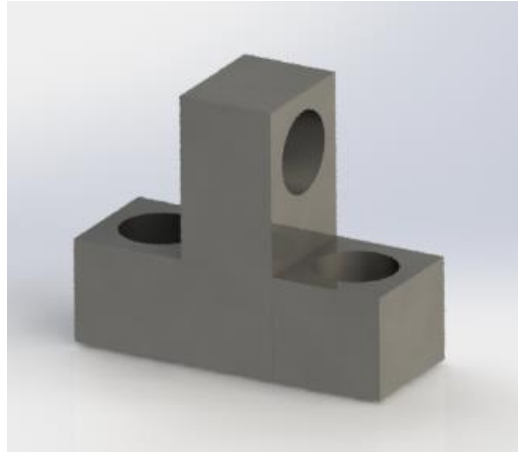


Ilustración 28. Diseño de acople para servo motores

Fuente: Propia

Se realizo la siguiente pieza la cual estará atornillada al diseño de las falanges mediales del sistema luego será atornillada al mecanismo para el accionamiento de los dedos de esta manera el sistema este acoplado entre para generar un empuje con el servo motor y las falanges de los dedos.



Ilustración 29. Ensamblaje de mecanismo para accionamiento de dedos

Fuente: Propia

Como se puede observar en la figura 16, el mecanismo se integró exitosamente con el servo motor y con las falanges de los dedos produciendo un movimiento de enfrente y hacia atrás.

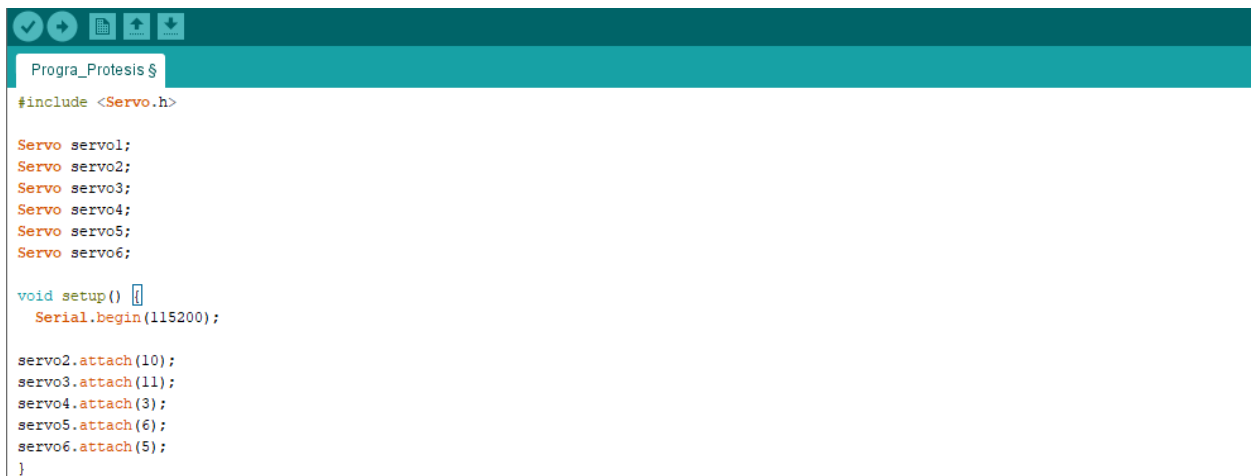
#### 4. Integración Partes de Control

En esta etapa los motores funcionaron de acuerdo al colocar la batería de 9V para poder generar un movimiento en los servos dado que con los 5V del Arduino el sistema fracasa y no genera ningún tipo de movimiento. Entonces al desconectar la fuente USB del Arduino el sistema empieza a funcionar autónomamente ya que la programación queda en el microcontrolador.

El sensor Electromiografico recolecto datos de lecturas análogas al momento de realizar contracciones en el sistema dejando información del comportamiento que puede presentar al momento de colocar la programación ya que ciertos movimientos pueden variar la frecuencia en que detecta pero no es mucha la diferencia para medir cuando de verdad se realiza un esfuerzo en los dedos, luego de leer las señales análogos fue en puesta la programación del sistema verificando los ángulos en que se mueven los dedos para no arruinar el mecanismo dejando en 0 el Angulo y proceder al verificar el movimiento correcto.

## 5. Subsistema de procesamiento

Al colocarse en diferentes puntos los sensores Electromiograficos las señales pueden variar debido a que deben ponerse en el mismo lado donde se desea observar la contracción del musculo ya que sus lecturas en las gráficas pueden variar y de igual manera en la programación fue incluida en el sistema del Arduino UNO se incluyeron los puertos que se van a utilizar para los componentes de salida y entrada.



```
Progra_Protesis $
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
Servo servo5;
Servo servo6;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  servo2.attach(10);
  servo3.attach(11);
  servo4.attach(3);
  servo5.attach(6);
  servo6.attach(5);
}
```

Ilustración 30. Programación en Arduino

Fuente: Propia

Como se logra ver en la figura 17, primero se declaró la librería del servo motor y los puertos de los servo motores.

```
void loop() {  
  // read the input on analog pin 0:  
  int sensorValue = analogRead(A0);  
  
  if(analogRead(A0) > 200){  
    servo2.write(90);  
    servo3.write(90);  
    servo4.write(90);  
    servo5.write(90);  
    servo6.write(90);  
  }  
  else if (analogRead(A0)< 250){  
    servo2.write(0);  
    servo3.write(0);  
    servo4.write(0);  
    servo5.write(0);  
    servo6.write(0);  
  }  
  Serial.println(sensorValue);  
  delay(1);  
}
```

Ilustración 31. Programación en Arduino

Fuente: Propia

En figura 18, se puede observar la programación al Arduino, la cual contiene la lectura del sensor Electromiografico, cabe declarar que las señales de este dispositivo pueden variar según la posición de los músculos y la programación debe cambiar según las primeras lecturas realizadas.

## 6. Subsistema eléctrico

En el diseño del mecanismo para generar el accionamiento de los dedos se necesita el uso de 5 servo motores estos generan un movimiento de agarre de los dedos de enfrente y hacia atrás para generar el movimiento de arriba hasta abajo. Este motor este acoplado a una parte impresa en 3D donde se acopla la otra parte del mecanismo para generar el agarre del mismo.



Ilustración 32. Servo Motor

Fuente: "How Servo Motor Works & Interface It With Arduino," 2019)



## 7. Subsistema de Energía

En el sistema se comprobó que el Arduino tuviera la energía correcta entregando los 5V al sistema y luego que el sensor EMG tuviera la energía suficiente de los 18V para poder realizar lecturas de las contracciones musculares. El sistema al momento de enviar un voltaje desde el USB de la computadora hace que se desconecte del sistema y por eso se conecta directamente al sensor shield donde es completamente autónomo cuando está conectado al Arduino de una sola manera.

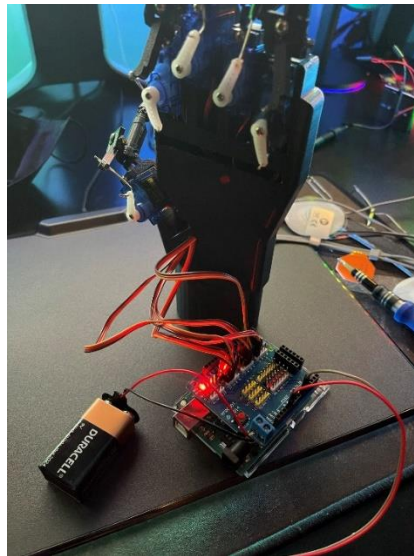


Ilustración 33. Integración de energía al sistema

Fuente: Propia

Etapa 5: Integración de los subsistemas

### 1. Integración Subsistema Mecánico

Se realizó la impresión en 3D del dispositivo la cual tuviera el diseño adecuado en el que fue creado desde un inicio para verificar si los soportes estaban correctos y que no tuviera fisuras en el sistema.



Ilustración 34. Palma de la mano Impresa en 3D

Fuente: Propia

## 2. Integración Subsistema de Housing

Se colocaron los demás mecanismos para armar el prototipo, los dedos y si se observa a la figura 21, tiene un tamaño igual al de una persona. Las piezas se pudieron montar en el mecanismo sin ningún problema se tuvo el espacio suficiente para el ingreso de los servos motores. A partir de aquí se procedió a unir las falanges mediales con tornillos milimétricos de esta manera generando un movimiento de dedos entre la unión de estas dos.



Ilustración 35. Integración de los mecanismos en la prótesis

Fuente: Propia

### 3. Integración de movimiento en dedos

Se instalaron los sistemas de servos en la mano luego de haber construido el prototipo con sus dedos, se instalaron los componentes mecánicos en el servo motor y se verificó el movimiento que estos realizaban para un correcto movimiento en ellos.



Ilustración 36. Integración de servo motores

Fuente: Propia

### 4. Integración subsistema de movimiento electrónico

Se comprobó que la conexión entre los 5 servomotores fuera correcta y con su respectiva batería para generar el movimiento de los servo motores.

### 5. Integración subsistema EMG

Se comprobó que el sistema Electromiográfico tuviera el voltaje correcto para poder leer las señales provenientes de los músculos al momento de hacer una contracción.

### 6. Integración Subsistema de Comunicación

La programación del sistema fue subida hacia el microcontrolador para verificar la lectura de los datos análogos del sensor EMG.

### 7. Integración de control para el sensor EMG

Las lecturas que fueron tomadas por parte del sensor fueron exitosas generando valores bajos al momento de no generar alguna pulsación y al generar una pulsación su estado paso a estar elevado siendo efectivo para poder generar el movimiento de los servo motores.

### 8. Integración control de movimiento del robot

La programación del sistema fue subida exitosamente para proceder a hacer las pruebas de agarre y verificar si se genera movimiento.

#### Etapa 6: Integración de los sistemas

##### 1. Sistema Mecánico

La estructura se integró completamente con todos los componentes mecánicos mencionados anteriormente.

##### 2. Integración Sistema Electrónico

La placa sensor shield se adaptó al Arduino de manera exitosamente sin generar algún problema con los voltajes de los servo motores ya que se colocó la batería de 9V al sistema.

##### 3. Integración sistema de control

Se desarrollo completamente la programación del sistema para que en los puertos análogos del sistema se pueda leer el sensor Electromiografico y de igual manera que enviara las señales digitales para mover los servomotores según las lecturas que lea el sensor si se abrirá o cerrar la mano.

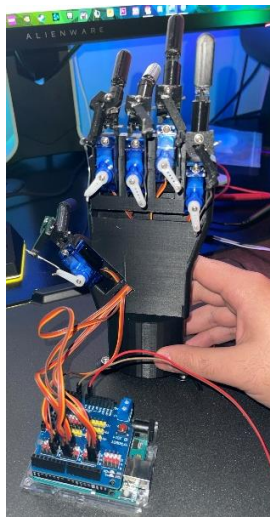


Ilustración 37. Integración todas las partes mecánicas de la pretesis

Fuente: Propia

En la figura 24 se observa completamente terminado el sistema mecánico de la protesis y su debida estructura. Todas sus piezas fueron impresas en material PLA debido a su resistencia que se obtiene ya que es un prototipo.

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (HNL)</b>	<b>Total</b>
Servo Motores	5	L.400.00	
ArduinoUNO	999	L999.00	
Sensor Shield	155	L.200.00	
Cables Jumper Hembra	30	L.45.00	
Cables Jumper Macho	30	L.45.00	
Cables jumper Hembra Hembra	30	L.45.00	
Impresión 3D	1	L.582.00	
Tornillos 2mm	10	L.100.00	
Sensor EMG	1	L.1,150.00	
Adaptador para batería	5	L.125.00	
<b>TOTAL</b>		<b>L.3,556.00</b>	

Tabla 9. Costo de materiales utilizados

Fuente: Propia

En la tabla 7 se puede observar los costos que fueron necesarios para la creación de la prótesis de mano. Para la creación del dispositivo se utilizó el material PLA el cual tuvo un costo de L. 582.00, la recomendación para este prototipo es recomendable utilizar ABS, pero el costo anda en L. 1,200.00. Ya que el material tiene un mismo costo, pero el costo excede debido a la maquinaria por imprimir en ABS.

Dentro de los resultados se puede mencionar que se elaboró un prototipo de una prótesis de mano, cabe resultar que el mecanismo que se utilizó en este sistema al momento de ser ingresado con los servo motores, este presenta el fallo que se encuentra demasiado lejos, si se deja puesto el adaptador del servo motor con este mecanismo el agarre que podría generar el dispositivo no sería posible.

Algo a mejorar de este dispositivo es creando nuevos mecanismos más complejos para crear un movimiento con un los servo motores en una impresora 3D con la capacidad de crear impresiones milimétricas a partir de 1mm para la creación de los mecanismos minúsculos.

Ciclo B de la metodología en “V”

Etapa 3:

1. En la etapa 3 realización de las partes se obtuvo la impresora de la prótesis con todos sus componentes y quedando exactos con los resultados esperados de movimiento y de resistencia.

2. El sistema de housing obtuvo los resultados correctos al implementar los servo motores con las falanges de los dedos.



Ilustración 38. Impresión en 3D del dispositivo

Fuente: Propia

3. El accionamiento de los dedos tuvo como finalidad la lectura correcta del sensor y creando un movimiento de motores con el microcontrolador, generando movimientos con un Angulo de 90 grados del servo motor.

4. En el subsistema eléctrico se obtuvo el acople del motor en las piezas de la prótesis de la mano obteniendo un movimiento en las falanges muy bajo debido a que el mecanismo de este sistema es demasiado pequeño y para este caso debería ser mayor o ya sea utilizar otra herramienta de soporte para ser jalado el mecanismo a una mayor distancia.

5. Los componentes para la lectura del sensor se implementó 2 baterías de 9v en serie con un total de 18v para ser la lectura correcta del sensor como resultado una lectura análoga del sensor.

6. El sensor obtuvo lecturas análogas pero el problema fue la captura de datos debido a que si es colocado en diferentes partes del cuerpo puede variar incluso si es colocado en el mismo sitio el sensor puede leer diferentes tipos de datos y variar la programación

7. El microcontrolador fue programado según los datos obtenidos del sistema EMG y creando de esta forma la programación del sistema

#### Etapa 4: Integración de partes

1. Se obtuvo un movimiento por medio de las falanges al colocar los tornillos de 2mm en el sistema



Ilustración 39. Acople tornillos de 2mm a las falanges

Fuente: Propia

2. En el subsistema de housing se colocaron todos los mecanismos siendo posible hacer que los cables pasen por debajo del sistema y de esta manera obteniendo exitosamente un acople correcto de las partes mecánicas.

3. El movimiento de los dedos fue posible al acople de un segundo mecanismo a las falanges ya que este fue atornillado en el para ser acoplado con el servo motor, pero generando un movimiento bastante bajo en el movimiento de los dedos.

4. Se colocó una fuente de poder al sensor shield de 9v debido a que los servo motores ocupan una fuente externa para generar un movimiento en ellos mientras el sistema está leyendo las lecturas análogas.

5. Los componentes eléctricos no tuvieron una falla al momento de realizar la conexión con las baterías, sensores y los servo motores.

6. Los movimientos en los servo motores tuvieron el defecto de que las lecturas del sensor Electromiografico variaba bastante en donde es colocado, lo sensible que puede llegar a ser las lecturas siendo elevado y bajo.

7. En la placa se obtuvieron voltajes de 4.5 a 5v para el movimiento de los servos motores

Etapa 5: Integración de los subsistemas

Componente	Peso
<b>Falanges Mediales</b>	12.5g
<b>Falanges Superiores</b>	11.37g
<b>Palma</b>	93.46g
<b>Mecanismo Servo Motor</b>	13.85g
<b>Arduino Uno</b>	25g
<b>Sensor Shield</b>	42g
<b>Baterías 9v</b>	135g
<b>Servo motor MG90</b>	67g
<b>Peso total</b>	400.18g

Tabla 10. Peso Componentes

Fuente: Propia

En la tabla 10, podemos observar el peso total de todos los componentes llegando a un peso de 400g, lo cual es mucho menor al de una mano convencional tomando en cuenta el uso de 3 baterías y los componentes electrónicos.



## Etapa 5: Integración de los Subsistemas.

1. El sistema mecánico fue acoplado correctamente siendo sometido con todos los componentes electrónicos.



Ilustración 40. Vista inferior palma de prototipo

Fuente: Propia

2. El housing fue puesto a prueba al momento de realizar hoyos para la integración de los tornillos en cada parte de los mecanismos y sin sufrir algún daño.

3. Los movimientos de los dedos fue bastante bajo y no soporto un agarre debido a su mecanismo demasiado pequeño.

4. los motores generaron movimiento en los mecanismos

5. El sensor EMG fue colocado de manera cuidadosa en el housing de la manera y pudo obtener lecturas para generar el movimiento en los mecanismos.

6. La comunicación en el sistema fue producido exitosamente con el Arduino, sensor y los actuadores.

7. El sensor EMG hizo las lecturas correspondientes adecuadamente.

8. Los actuadores realizaron movimientos diferentes debido a las lecturas del sensor dejando un movimiento errático con los servo motores.

## Etapa 6: Integración de los sistemas

1. Como resultado final el acople de los sistemas fue exitoso sin ningún problema en la mano teniendo un housing bastante resistente, pero es necesario el cuidado a estos componentes eléctricos que son bastante sensibles.

2. Los sistemas electrónicos fueron acoplados al sistema sin ningún problema y generando las debidas salidas de voltajes y lecturas correctas.
3. El Sistema de control fue construido mediante la programación del sistema en el lenguaje C en Arduino, como primero obtener lecturas del sensor para saber dónde colocar la lógica en la programación para realizar el movimiento de los actuadores.

## VI. CONCLUSIONES

- Se demostró que la creación de una prótesis de mano de bajo costo puede ser posible, utilizando materiales y elementos de bajo costo.
- Se seleccionó el material ABS como el material más óptimo para el proyecto, debido a que este es capaz de cumplir los requisitos del sistema. Pero el prototipo fue diseñado en PLA dado por el bajo costo del material.
- Se diseñó un prototipo de una prótesis con un peso de 468.85g, teniendo un peso menor que el de una mano convencional. La prótesis al presentar un peso menor que una humana esto significará que no tendrá que cargar un peso excesivo.
- Se demostró que la prótesis no es capaz de realizar los movimientos de agarre realizados en las pruebas dado que el sensor EMG lee diferentes tipos de lecturas, ya que las posiciones del sensor nunca son exactas o la cantidad de esfuerzo varía. También los mecanismos utilizados en este prototipo presentaron problemas al ser demasiado pequeños y romperse.
- Los materiales utilizados para el desarrollo de este prototipo fueron elegidos como ABS siendo sometido a un esfuerzo de 400N teniendo un esfuerzo máximo en la prueba de von Mises Stress de  $1.291 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios con mejores materiales que pudieran utilizar para que el costo del mecanismo sea mucho más bajo y de alta calidad.
- Implementar un diseño donde sea mejor estéticamente en el cual no tenga alguna visibilidad de los cables y sensores.
- Utilizar un mejor sensor Electromiografico el cual no tenga el problema de utilizar 2 baterías de 9v, y que las lecturas análogas de este sensor se mantengan estables ya que podría realizar movimientos indebidos sin el consciente de la persona.
- Crear un diseño más robusto en el área de las falanges debido a que están mas expuestas hacia el uso cotidiano o podrían construirse de un material mas fuerte que la palma de la mano.

## BIBLIOGRAFÍAS

Martini, F. H. (2009). *Atlas de anatomía humana*. Pearson Addison Wesley.

15 Limb Loss Statistics that May Surprise You. (2017, October 18). *Access Prosthetics*.

<https://accessprosthetics.com/15-limb-loss-statistics-may-surprise/>

Ariyanto, M., Caesarendra, W., Mustaqim, K. A., Irfan, M., Pakpahan, J. A., Setiawan, J. D., & Winoto, A.

R. (2015). Finger movement pattern recognition method using artificial neural network based on electromyography (EMG) sensor. *2015 International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT)*, 12–17. <https://doi.org/10.1109/ICACOMIT.2015.7440146>

Azizahwati, A., Sudrajat, H., Hidayat, F., & Ridho, M. (2019). Designing Prototype Learning Media for

Circular Motion Uniform Based on Arduino Uno Microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*, 1351, 012064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012064>

Ballard, L., Sabanovic, S., Kaur, J., & Milojevic, S. (2012). George Charles Devol, Jr. [History]. *IEEE Robotics*

*& Automation Magazine*, 19(3), 114–119. <https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2206672>

Bastarrechea, A., Estrada, Q., Zubrzycki, J., Torres-Argüelles, V., Reynoso, E., Rodríguez, A., & Coutiño, E.

(2020). Mechanical design of a low-cost ABS hand prosthesis using the finite element method. *Journal of Physics*, 12.

Beninati, G., & Sanguineti, V. (2019). A dynamic model of hand movements for proportional myoelectric

control of a hand prosthesis \*. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 6648–6651.

<https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857090>

Bennett, D. A., Dalley, S. A., & Goldfarb, M. (2012). Design of a hand prosthesis with precision and

conformal grasp capability. *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 3044–3047. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346606>

- Bolboe, M., & Staretu, I. (2014). Antropomorphic gripper with two symmetrical fingers, designed for industrial robots. *2014 23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAAD.2014.7002280>
- Bouma, S. E., Postema, S. G., Bongers, R. M., Dijkstra, P. U., & van der Sluis, C. K. (2018). Musculoskeletal complaints in individuals with finger or partial hand amputations in the Netherlands: A cross-sectional study. *Disability and Rehabilitation*, *40*(10), 1146–1153. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1289418>
- Caffaz, A., & Cannata, G. (1998). The design and development of the DIST-Hand dextrous gripper. *Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.98CH36146)*, *3*, 2075–2080. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1998.680623>
- Cracchiolo, M., Valle, G., Petrini, F., Strauss, I., Granata, G., Stieglitz, T., Rossini, P. M., Raspopovic, S., Mazzoni, A., & Micera, S. (2020). Decoding of grasping tasks from intraneural recordings in trans-radial amputee. *Journal of Neural Engineering*, *17*(2), 026034. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab8277>
- Darak, B. S., & Hambarde, S. M. (2015). A review of techniques for extraction of cardiac artifacts in surface EMG signals and results for simulation of ECG-EMG mixture signal. *2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PERVASIVE.2015.7087067>
- Dargahi, J., & Najarian, S. (2005). Advances in tactile sensors design/manufacturing and its impact on robotics applications – a review. *Industrial Robot: An International Journal*, *32*(3), 268–281. <https://doi.org/10.1108/01439910510593965>
- Das, M. T., & Canan Dülger, L. (2005). Mathematical modelling, simulation and experimental verification of a scara robot. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *13*(3), 257–271. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2004.11.004>

- Digitalisation and innovations for more quality of life*. (n.d.). Retrieved February 22, 2021, from <https://www.ottobock.com/en/company/innovations/>
- Disability Inclusion Overview*. (n.d.). [Text/HTML]. World Bank. Retrieved February 2, 2021, from <https://www.worldbank.org/en/topic/disability>
- Dursun, M., & Engin, S. (2018). Deadbeat control of a DC servo motor at low speed. *2018 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 282–286. <https://doi.org/10.1109/ICCAR.2018.8384685>
- Femmam, S. (2017). Actuators: Modeling and Analysis. In *Signals and Control Systems: Application for Home Health Monitoring* (pp. 117–159). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119384649.ch3>
- Gaiser, I., Schulz, S., Kargov, A., Klosek, H., Bierbaum, A., Pylatiuk, C., Oberle, R., Werner, T., Asfour, T., Bretthauer, G., & Dillmann, R. (2008). A new anthropomorphic robotic hand. *Humanoids 2008 - 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 418–422. <https://doi.org/10.1109/ICHR.2008.4755987>
- Garcia, E., Jimenez, M. A., De Santos, P. G., & Armada, M. (2007). The evolution of robotics research. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, *14*(1), 90–103. <https://doi.org/10.1109/MRA.2007.339608>
- How Servo Motor Works & Interface It With Arduino. (2019, October 20). *Last Minute Engineers*. <https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial/>
- Hu, F., Chuan, L., Xu, Y., & You, Z. (2019). Large-Displacement Micro Pneumatic Actuators Based on Corrugated Parylene Film. *2019 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII (TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXXIII)*, 76–79. <https://doi.org/10.1109/TRANSDUCERS.2019.8808813>

- International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017). (2018). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 320, 011001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/320/1/011001>
- Ivan, A. M., Parpala, R. C., Coman, C. G., & Nicolescu, A. F. (2019). Comparative analysis between using an articulated arm robot and a conventional machine in milling applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 591, 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/591/1/012080>
- Jabin, J., Adnan, Md. E., Mahmud, S. S., Chowdhury, A. M., & Islam, M. R. (2019). Low Cost 3D printed Prosthetic for Congenital Amputation using Flex Sensor. *2019 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, 821–825. <https://doi.org/10.1109/ICAEE48663.2019.8975415>
- Jianxun Zhang, Huan Tan, Wenqin Luo, Tian Yang, & Shumei Wang. (2006). Robot Assistant Microsurgery System. *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 9032–9036. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1713747>
- Ju, Z., Ouyang, G., & Liu, H. (2013). EMG-EMG correlation analysis for human hand movements. *2013 IEEE Workshop on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space (RiISS)*, 38–42. <https://doi.org/10.1109/RiISS.2013.6607927>
- Koprnicky, J., Najman, P., & Safka, J. (2017). 3D printed bionic prosthetic hands. *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and Their Application to Mechatronics (ECMSM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ECMSM.2017.7945898>
- Kristal, S., Baumgarth, C., & Henseler, J. (2020). Performative corporate brand identity in industrial markets: The case of German prosthetics manufacturer Ottobock. *Journal of Business Research*, 114, 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.04.026>



- Kucuk, S., & Gungor, B. D. (2016). Inverse kinematics solution of a new hybrid robot manipulator proposed for medical purposes. *2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO.2016.7863076>
- Kyfonidis, C., Moumoutzis, N., & Christodoulakis, S. (2017). Block-C: A block-based programming teaching tool to facilitate introductory C programming courses. *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 570–579. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7942903>
- Liu, H., Yang, D., Fan, S., & Cai, H. (2016). On the development of intrinsically-actuated, multisensory dexterous robotic hands. *ROBOMECH Journal*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40648-016-0043-5>
- Liu, J., & Wu, T. (2013). Design of Biped Walking Robot Based on the Arduino. *Applied Mechanics and Materials*, 364, 361–364. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.364.361>
- Long, Z., Xuewen, W., Zhouhu, D., & Ran, R. (2012). Design of AC Servo Motor Control System Based on XC164CM Microcontroller. *2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 1277–1279. <https://doi.org/10.1109/ICICEE.2012.339>
- Luengas C., L. A., & Toloza, D. C. (2020). Análisis frecuencial y de la densidad espectral de potencia de la estabilidad de sujetos amputados. *TecnoLógicas*, 23(48), 1–16. <https://doi.org/10.22430/22565337.1453>
- Mahmoud, R. A. A. E.-A., Ueno, A., & Tatsumi, S. (2011). An assistive tele-operated anthropomorphic robot hand: Osaka city university hand ii. *Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction - HRI '11*, 85. <https://doi.org/10.1145/1957656.1957677>
- Marieb, E. N. (2012). *Anatomía y fisiología humana*. Pearson Addison Wesley.
- Martini, F. H. (2009). *Atlas de anatomía humana*. Pearson Addison Wesley.

- Más de 3,000 personas beneficiadas con prótesis hechas por Teletón.* (n.d.). Diario La Prensa. Retrieved February 16, 2021, from <https://www.laprensa.hn/sanpedro/1303601-410/3000-personas-beneficiadas-protesis-fundacion-teleton-san-pedro-sula-honduras>
- Neelum, Y. S., Kausar, Z., & Usama, S. A. (2019). Reference position estimation for prosthetic elbow and wrist using EMG signals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 635, 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/635/1/012031>
- Nisal, K., Ruhunge, I., Subodha, J., Perera, C. J., & Lalitharatne, T. D. (2017). Design, implementation and performance validation of UOMPro artificial hand: Towards affordable hand prostheses. *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 909–912. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8036972>
- O’Neill, C. (2014). An advanced, low cost prosthetic arm. *IEEE SENSORS 2014 Proceedings*, 494–498. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985043>
- Prótesis en 3D ayudará a que jóvenes con discapacidad puedan desarrollar emprendimientos.* (n.d.). El PNUD en Honduras. Retrieved February 16, 2021, from <https://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/stories/protesis-en-3d-ayudara-a-que-jovenes-con-discapacidad-puedan-des.html>
- Putra, D. S., Weru, Y. U. W., & Fitriady. (2019). Pattern recognition of electromyography (EMG) signal for wrist movement using learning vector quantization (LVQ). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 506, 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012020>
- Pylatiuk, C., Mounier, S., Kargov, A., Schulz, S., & Bretthauer, G. (2004). Progress in the development of a multifunctional hand prosthesis. *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4, 4260–4263. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2004.1404187>

- Radu (Frenț), C., Roșu, M. M., & Iliescu, M. (2020). Design and Model of a Prosthesis for Hand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 916, 012093.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/916/1/012093>
- Rizzo, D. (2011). *Fundamentos de anatomía y fisiología (3a. Ed.)*. CENGAGE Learning.  
<http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3430271>
- Sclater, N. (2011). *Mechanisms and mechanical devices sourcebook*. McGraw-Hill.  
<http://accessengineeringlibrary.com/browse/mechanisms-and-mechanical-devices-sourcebook-fifth-edition>
- Shariatee, M., Akbarzadeh, A., Mousavi, A., & Alimardani, S. (2014). Design of an economical SCARA robot for industrial applications. *2014 Second RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, 534–539. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2014.6990957>
- Solé, A. C. (2012). *Neumatica e Hidráulica*. Marcombo.
- Stoianovici, D., Patriciu, A., Petrisor, D., Mazilu, D., & Kavoussi, L. (2007). A New Type of Motor: Pneumatic Step Motor. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 12(1), 98–106.  
<https://doi.org/10.1109/TMECH.2006.886258>
- Taufiq, A. J., Kurniawan, I. H., & Nugraha, T. A. Y. (2020). Analysis of Arduino Uno Application on Control System Based on Industrial Scale. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771, 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012015>
- Tommasi, T., Orabona, F., Castellini, C., & Caputo, B. (2013). Improving Control of Dexterous Hand Prostheses Using Adaptive Learning. *IEEE Transactions on Robotics*, 29(1), 207–219.  
<https://doi.org/10.1109/TRO.2012.2226386>
- Wang, A., Hu, N., Yu, J., Liao, W., Zhang, J., Wu, X., & Pei, C. (2019). Research on robot control system of lower limb rehabilitation robot based on human gait comfort. *2019 International Conference on*

*Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 34–39.

<https://doi.org/10.1109/ICAMechS.2019.8861558>

Wei Wei, Shuxiang Guo, Wu Zhang, Jian Guo, & Yunliang Wang. (2013). A novel VR-based upper limb rehabilitation robot system. *2013 ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, 302–306. <https://doi.org/10.1109/ICCME.2013.6548259>

Xavier, N. F. R., Almeida, J. C. F. de, Rocha, P. R. S., & Funez, M. I. (2020). Prevention and control of chronic post-amputation pain of extremities: Systematic review. *Brazilian Journal Of Pain*, 3(3). <https://doi.org/10.5935/2595-0118.20200182>

Yi, S.-J., & Lee, D. D. (2016). Dynamic heel-strike toe-off walking controller for full-size modular humanoid robots. *2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 395–400. <https://doi.org/10.1109/HUMANOIDS.2016.7803306>