



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **“DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO DE PRÓTESIS AUTOMATIZADA (BRAZO IZQUIERDO) POR MEDIO DE SENSORES ELECTROMUSCULARES”**

**ZÚÑIGA GUADALUPE ANDRÉS SEBASTIÁN**

### **TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-11-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**ZÚÑIGA GUADALUPE ANDRÉS SEBASTIÁN**

Titulado:

**“DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO DE  
PRÓTESIS AUTOMATIZADA (BRAZO IZQUIERDO) POR MEDIO DE  
SENSORES ELECTROMUSCULARES”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos  
**DIRECTOR**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**ASESOR**

---

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ZÚÑIGA GUADALUPE ANDRÉS SEBASTIÁN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO DE PRÓTESIS AUTOMATIZADA (BRAZO IZQUIERDO) POR MEDIO DE SENSORES ELECTROMUSCULARES”

**Fecha de Examinación:** 2018-24-01

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Carlos José Santillán Mariño <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Andrés Sebastián Zúñiga Guadalupe**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Zúñiga Guadalupe Andrés Sebastián, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Zúñiga Guadalupe Andrés Sebastián**

Cedula de Identidad: 180382009-9

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermana que han sido mi más grande motivación ya que me han enseñado buenos valores, ya que siempre han estado ahí en los momentos difíciles de la vida, apoyándome moralmente y aconsejándome para ser un hombre de bien.

A mi familia en general que con sus consejos han hecho de mí un hombre de provecho a todos ellos les digo gracias y este logro es de todos por el esfuerzo y dedicación que todos contribuyeron.

**Andrés Sebastián Zúñiga Guadalupe**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermana que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y consejos para hacer de mí una persona de bien.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma han contribuido para el logro de mis objetivos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

**Andrés Sebastián Zúñiga Guadalupe**

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito realizar un prototipo de prótesis del brazo izquierdo, que reconozca los impulsos eléctricos del músculo para que actúe con inteligencia propia, el prototipo será accionado por sensores musculares, los cuales emitirán señales para el accionamiento de la prótesis. Se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña, pero el sensor electro muscular logra detectar esta señal eléctrica y convertirla en una señal binaria para el funcionamiento de la prótesis. Esta señal mencionada será la que active los servos motores que controlaran la prótesis. El prototipo de la prótesis será modelado en los diferentes hardwares de CAD, en donde, lograremos medidas antropométricas aproximadas a las reales y grados de libertad de movimiento en articulaciones más reales. El prototipo está impreso en 3D de la escuela en material PLA, debido a que este material no contiene derivados de combustibles fósiles, por lo tanto, no es nocivo para la salud. Se seleccionaron los parámetros de impresión de acuerdo al uso de los elementos, es decir, la temperatura y velocidad de impresión se la hizo de acuerdo a los parámetros indicados para el PLA. A la par se realizó el ensamble de toda la estructura y se colocaron los mecanismos de movimiento (servomotores, cables) para el movimiento del brazo. Para la construcción de esta prótesis utilizaremos lo antes mencionada, además, de cables que simularan los tendones y cabe recalcar, que para el sostenimiento de la prótesis en el brazo se realizara un arnés en forma de 8. Se concluye con resultados satisfactorios en las pruebas realizadas con los diferentes agarres de la prótesis y en la sujeción de esta al usuario. Se recomienda que este prototipo siga en estudio para que pueda ser utilizada en un caso real con una persona que haya perdido su extremidad.

PALABRAS CLAVE: <PROTESIS>, <SENSORES MUSCULARES>, <IMPRESIÓN 3D>, <SERVO MOTORES>, <DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <ANTROPOMETRIA>, < PLASTICO DE CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO (PLA)>, <ARNES>.



## ABSTRACT

The purpose of this project is to make a prototype of the left arm prosthesis, which recognizes the electrical impulses of the muscle so that it acts with its own intelligence, the prototype will be activated by muscle sensors, which will emit signals for the activation of the prosthesis. It is based on the concept that whenever a muscle in the body contracts or flexes, a small electrical signal is produced that is created by the chemical interaction in the body. This signal is very small, but the electro-muscular sensor manages to detect this electrical signal and convert it into a binary signal for the operation of the prosthesis. This signal will be the one that activates the servo motors that control the prosthesis. The prototype of the prosthesis will be modeled in the different CAD hardwares, where we will obtain approximate anthropometric measurements to the real ones and degrees of freedom of movement in more real articulations. The prototype is printed in 3D of the school in PLA material, because This material does not contain fossil fuel derivatives, therefore, it is not harmful to health. The printing parameters were selected according to the use of the elements, that is, the temperature and printing speed was made according to the parameters indicated for the PLA. At the same time the assembly of the whole structure was made and the movement mechanisms (servomotors, cables) were placed for the movement of the arm. For the construction of this prosthesis we will use the aforementioned, in addition, of cables that simulate the tendons and it should be emphasized, that for the support of the prosthesis in the arm a harness in the form of 8 is made. It concludes with satisfactory results in the tests made with the different grips of the prosthesis and in the fastening of this to the user. It is recommended that this prototype is still under study so that it can be used in a real case with a person who has lost his limb.

KEYWORDS: <PROSTHESIS>, <MUSCLE SENSORS>, <3D PRINTING>, <SERVO ENGINES>, <COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)>, <ANTHROPOMETRY>, <PLASTIC OF CONSTRUCTION OF THE PROTOTYPE (PLA)>, <ARNES>.

RESUMEN  
 ABSTRACT  
 INTRODUCCION

<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	1
1.2.1. <i>Justificación teórica.</i> .....	1
1.2.2. <i>Justificación metodológica.</i> .....	2
1.2.3. <i>Justificación práctica.</i> .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. <i>Objetivos Generales.</i> .....	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos.</i> .....	2
1.4. Planteamiento de la hipótesis.....	3
1.4.1. <i>Determinación de variables</i> .....	3
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. Amputación.....	4
2.1.1. <i>Tipos de amputación en extremidades</i> .....	4
2.2. Causas de amputación .....	5
2.3. Amputaciones en articulaciones superiores.....	5
2.4. Prótesis.....	6
2.4.1. <i>Reseña histórica de las prótesis</i> .....	6
2.4.2. <i>Tipos de prótesis</i> .....	7
2.4.2.1. Prótesis Activas.....	7
2.4.2.2. Prótesis pasivas.....	8
2.4.2.3. Prótesis híbridas.....	8
2.5. Antropometría .....	8
2.5.1. <i>Antropometría de reposo</i> .....	9
2.5.2. <i>Antropometría de movimiento</i> .....	9
2.6. Estudio anatómico de la extremidad superior .....	10
2.6.1. <i>Brazo.</i> .....	11
2.6.2. <i>Antebrazo.</i> .....	11
2.6.3. <i>Mano</i> .....	12
2.6.3.1. <i>Dedos</i> .....	12
2.7. Biomecánica .....	16
2.8. CAD (dibujo asistido por computadora) .....	17
2.8.1. <i>Impresión 3d.</i> .....	18
2.8.1.1. <i>Materiales</i> .....	19
2.9. Componentes .....	20
2.9.1. <i>Componentes electrónicos</i> .....	21
2.9.1.1. Arduino .....	21
2.9.1.2. Servomotores .....	21
2.10. <i>Componentes mecánicos</i> .....	23
2.10.1.1. Engranajes .....	23
2.10.1.2. Poleas.....	23
2.10.1.3. Tornillo de fijación .....	24

<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE MEDIDAS Y DIMENSIONES.....</b>	<b>25</b>
3.1.	Determinación de ángulos .....	25
3.1.1.	<i>Ángulos del brazo respecto a la vertical</i> .....	25
3.1.2.	<i>Manipulación de cargas</i> .....	26
3.2.	Longitudes principales. ....	26
3.2.1.	<i>Recolección de información.</i> .....	26
3.2.2.1.	<i>Población y muestra</i> .....	27
3.2.2.2.	Información necesaria .....	28
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>33</b>
4.	<b>DISEÑO DE PROTESIS.....</b>	<b>33</b>
4.1.	Fuerzas de levantamiento .....	33
4.2.	Cargas a soportar por el arnés .....	35
4.3.	Diseño tridimensional de la prótesis. ....	37
4.3.1.	<i>Cálculos de grados de libertad</i> .....	37
4.4.	Comparación del diseño con una mano humana. ....	39
4.4.1.	<i>Clasificación de la prótesis por partes</i> .....	39
4.4.2.	<i>Mano</i> .....	41
4.4.3.	<i>Palma</i> .....	41
4.4.4.	<i>Dedos</i> .....	42
4.4.5.	<i>Dedo pulgar</i> .....	43
4.4.6.	<i>Muñeca</i> .....	44
4.4.7.	<i>Antebrazo</i> .....	45
4.4.8.	<i>Acople Transhumeral</i> .....	47
4.5.	Selección de material .....	48
4.5.1.	<i>Impresión</i> .....	50
4.5.2.	<i>Configuración de la impresora.</i> .....	51
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>58</b>
5.	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA PROTESIS.....</b>	<b>58</b>
5.1.	Ponderación y toma de decisión para el uso de componentes electrónicos. ....	58
5.2.	Selección de servomotores .....	58
5.2.1.	<i>Selección de servomotores para los dedos</i> .....	58
5.2.2.	<i>Selección de servomotores.</i> .....	60
5.2.3.	<i>Selección de arduino para programación</i> .....	63
5.3.	<i>Selección de sensor muscular</i> .....	66
5.4.	<i>Selección de componentes mecánicos</i> .....	67
5.5.	Construcción de la prótesis .....	68
5.6.	Unión de piezas .....	69
5.7.	Unión de las piezas de la muñeca .....	73
5.8.	Unión de las piezas del antebrazo .....	74
5.9.	Unión del acople Transhumeral .....	76
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>78</b>
6.	<b>PROGRAMACIÓN, CONEXIÓN Y PRUEBAS.....</b>	<b>78</b>
6.1.	Arduino.....	78
6.1.1.	<i>Programación de los dedos</i> .....	78

6.1.2.	<i>Programación Agarre de fuerza.</i> .....	78
6.1.3.	<i>Programación para agarre de precisión.</i> .....	80
6.2.	Conexiones .....	81
6.2.1.	<i>Conexión para agarre de fuerza</i> .....	81
6.3.	Energización. ....	83
6.4.	Pruebas de la prótesis. ....	84
6.4.1.	<i>Prueba de sujeción del arnés</i> .....	84
6.4.2.	<i>Prueba de sujeción del bolso</i> .....	84
6.4.3.	<i>Prueba de funcionamiento de la prótesis con agarre de fuerza</i> .....	85
6.4.4.	<i>Prueba de funcionamiento de la prótesis con agarre de precisión</i> .....	87
6.5.	Costos y financiamiento.....	90
6.5.1.	<i>Costos directos.</i> .....	90
6.5.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	92
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>93</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>94</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: AMPUTACIÓN TRANSHUMERA.....	4
FIGURA 2-2: AMPUTACIÓN TRANSRADIAL .....	5
FIGURA 2-3: PRÓTESIS MECÁNICA DE GARFIOS.....	7
FIGURA 2-4: PRÓTESIS PASIVA .....	8
FIGURA 2-5: PRÓTESIS HÍBRIDA .....	8
FIGURA 2-6: ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA DE UN CUERPO SENTADO EN TOTAL REPOSO.....	9
FIGURA 2-7: ANTROPOMETRÍA DINÁMICA DESPLAZAMIENTO DE BRAZOS .....	10
FIGURA 2-8: ESTRUCTURA ÓSEA DEL BRAZO .....	10
FIGURA 2-9: ANATOMÍA DEL BRAZO .....	11
FIGURA 2-10: ANATOMÍA DE ANTEBRAZO.....	11
FIGURA 2-11: ANATOMÍA MANO HUMANA .....	12
FIGURA 2-12: DEDOS DE LA MANO .....	13
FIGURA 2-13: MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN Y EXTENSIÓN DE LOS DEDOS.	14
FIGURA 2-14: MOVIMIENTOS DE ABDUCCIÓN Y ADUCCIÓN DE LA MANO. .....	15
FIGURA 2-15: AGARRE DE PRECISIÓN.....	16
FIGURA 2-16: AGARRES DE FUERZA. ....	16
FIGURA 2-17: BRAZO ROBÓTICO .....	17
FIGURA 2-18: DISEÑO DE MANO EN SOLIDWORKS .....	18
FIGURA 2-19: IMPRESIÓN 3D.....	18
FIGURA 2-20: FILAMENTOS HECHOS DE ABS.....	19
FIGURA 2-21: PLÁSTICO PLA .....	20
FIGURA 2-22: ARDUINO MEGA 2560.....	21
FIGURA 2-23: SERVOMOTOR TOWER PRO MG 90D .....	22
FIGURA 2-24: SENSOR ELECTRO MUSCULAR MYOWARE .....	22
FIGURA 2-25: ENGRANAJES .....	23
FIGURA 2-26: POLEA .....	23
FIGURA 2-27: TORNILLOS DE FIJACIÓN.....	24
FIGURA 3-1: ANGULOS DEL BRAZO IZQUIERDO.....	78
FIGURA 3-2: OPERARIO ZUNIGA HNOS TRABAJANDO CON MAQUINA QUE PUEDE SUFRIR ATRAPAMIENTO DE SUS EXTREMIDADES SUPERIORES .....;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.1	
FIGURA 3-3: OPERARIO ZUÑIGA HNOS TRABAJANDO CON MÁQUINA QUE PUEDE SUFRIR ATRAPAMIENTO DE SUS EXTREMIDADES SUPERIORES .....;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.1	
FIGURA 4-1: FUERZA DE LEVANTAMIENTO.....	87
FIGURA 4-2: CARGAS A SOPORTAR POR EL ARNÉS. ....	88
FIGURA 4-3: COMPARACIÓN MANO HUMANA Y DISEÑO DE PRÓTESIS DE LA MANO.....	92
FIGURA 4-4: PALMA DE LA MANO .....	96
FIGURA 4-5: DEDOS DISEÑADOS CON SUS JUNTAS DE MOVIMIENTOS.....	98

<b>FIGURA 4-6: DISEÑO PARA IMPRESIÓN DE DEDOS</b> .....	99
<b>FIGURA 4-7: DISEÑO PARA IMPRESIÓN DEDO PULGAR</b> .....	99
<b>FIGURA 4-8: DISEÑO DE LA MUÑECA</b> .....	100
<b>FIGURA 4-9: DISEÑO DEL ANTEBRAZO</b> .....	101
<b>FIGURA 4-11: CAMA DE SERVOMOTORES, GUIAS PARA CABLES Y POLEAS</b> .....	102
<b>FIGURA 4-12: IMPRESORA SEEMEEM CNC ROSTOCK MAX V3</b> .....	105
<b>FIGURA 4-13: PROPIEDADES DEL MATERIAL</b> .....	108
<b>FIGURA 4-14: CONFIGURACION DE LA TEMPERATURA DE LA IMPRESION</b> .....	108
<b>FIGURA 4-15: VELOCIDADES Y MOVIMIENTOS DE LA IMPRESORA</b> .....	109
<b>FIGURA 4-16: VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO</b> .....	109
<b>FIGURA 5-1: ENGRANAJES METÁLICOS DEL SERVOMOTOR</b> .....	116
<b>FIGURA 5-2: SERVOMOTOR TOWER PRO SG-5010</b> .....	119
<b>FIGURA 5-3: PLACA ARDUINO LEONARDO</b> .....	121
<b>FIGURA 5-4: SENSOR MUSCULAR MYOWARE</b> .....	123
<b>FIGURA 5-5: IMPRESIÓN DE PIEZAS EN IMPRESORA SEEMEE CNC ROCKD TOCK MAX V3</b> .....	124
<b>FIGURA 5-6: PIEZAS SIENDO LIJADAS</b> .....	125
<b>FIGURA 5-7: PIEZAS QUE FORMAN UN DEDO</b> .....	125
<b>FIGURA 5-8: UNION DE LA BASE DEL DEDO A LA PALMA</b> .....	126
<b>FIGURA 5-9: SEGMENTOS QUE FORMAN LOS DEDOS</b> .....	126
<b>FIGURA 5-10: CABLE A TRAVÉS DE LA PARTE SUPERIOR DEL DEDO</b> .....	127
<b>FIGURA 5-11: ENSAMBLE Y PASO DE CABLES POR LA MANO</b> .....	127
<b>FIGURA 5-12: RECUBRIMIENTO DE LA MANO Y DEDOS</b> .....	128
<b>FIGURA 5-13: ACOPLE DE MANO Y MUÑECA</b> .....	128
<b>FIGURA 5-14: MONTAJE DE SERVOMOTOR EN MUÑECA</b> .....	129
<b>FIGURA 5-15: GUÍA PARA TENDONES</b> .....	129
<b>FIGURA 5-16: UNIÓN TAPAS DEL ANTEBRAZO</b> .....	130
<b>FIGURA 5-17: MONTAJE DE CAMA PARA SERVOMOTORES</b> .....	130
<b>FIGURA 5-18: MONTAJES DE SERVOMOTORES Y AJUSTE DE CABLES</b> .....	131
<b>FIGURA 5-19: ANTEBRAZO COMPLETO</b> .....	131
<b>FIGURA 5-20: UNIÓN DEL ACOPLE TRANSHUMERAL</b> .....	132
<b>FIGURA 5-21: PRÓTESIS TOTALMENTE ENSAMBLADA</b> .....	132
<b>FIGURA 6-1: PROGRAMACIÓN AGARRE DE FUERZA</b> .....	134
<b>FIGURA 6-2: PROGRAMACIÓN AGARRE DE PRECISIÓN</b> .....	135
<b>FIGURA 6-3: CONEXIÓN DEL ARDUINO CON LOS SERVOMOTORES</b> .....	136
<b>FIGURA 6-4: CONEXIÓN DEL ARDUINO CON LOS SERVOMOTORES QUE CONTROLAN LOS DEDOS LA MUÑECA Y EL SENSOR</b> .....	138
<b>FIGURA 6-5: FUENTE DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA</b> .....	139
<b>FIGURA 6-6: REALIZACIÓN DE PREBAS</b> .....	144
<b>FIGURA 6-7: PRÓTESIS SIENDO PROBADA</b> .....	145

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1: GRADOS DE FLEXIÓN Y EXTENSIÓN DE LA MANO .....	14
TABLA 2-2: GRADOS DE ABDUCCIÓN Y ADUCCIÓN .....	15
TABLA 3-1: DESCRIPCIÓN DE ÁNGULOS BRAZO IZQUIERDO .....	26
TABLA 3-2: INFORMACIÓN OBTENIDA DE OPERARIOS.....	29
TABLA 3-3: CÁLCULO PERCENTIL.....	31
TABLA 3-4: MEDICIONES DE DEDOS.....	32
TABLA 3-5: CÁLCULO PERCENTIL.....	32
TABLA 4-1: DATOS DE FUERZAS Y DISTANCIAS.....	34
TABLA 4-2: NÚMERO DE ESLABONES Y JUNTAS .....	38
TABLA 4-3: PARTES PRINCIPALES DE LA PRÓTESIS CON SUS RESPECTIVOS SEGMENTOS.....	40
TABLA 4-4: DATOS DE MEDIDAS DE LA MANO REAL Y DISEÑADA.....	41
TABLA 4-5: MEDIDAS DE DISEÑO DE LOS DEDOS.....	42
TABLA 4-6: DATOS DE MEDIDAS REALES Y DISEÑADAS DEL ANTEBRAZO. .....	46
TABLA 4-7: DATOS REALES Y DE DISEÑO PARA EL ACOUPLE TRANSHUMERAL.....	47
TABLA 4-8: CALIFICACIONES PARA LA PONDERACIÓN .....	48
TABLA 4-9: PONDERACIÓN DE CALIFICACIONES PARA SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	49
TABLA 4-10: PROPIEDADES DEL PLA.....	49
TABLA 4-11: ESPECIFICACIONES IMPRESORA SEEMEE CNC ROSTOCK MAX V3 .....	51
TABLA 4-12: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE IMPRESIÓN .....	55
TABLA 4-13: CARACTERÍSTICAS DE IMPRESIÓN DE LA MUÑECA.....	55
TABLA 4-14: CARACTERÍSTICAS DE IMPRESIÓN DEL ANTEBRAZO.....	56
TABLA 4-15: TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE IMPRESIÓN ACOUPLE TRANSHUMERAL .....	57
TABLA 5-1: TABLA DE PONDERACIÓN DE RESULTADOS .....	59
TABLA 5-2: ESPECIFICACIONES SERVO MOTOR KING MOTOR KM 1500.....	60
TABLA 5-3: TABLA DE PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE SERVOMOTOR PARA MOVIMIENTOS DE MUÑECA .....	61
TABLA 5-4: ESPECIFICACIONES DEL SERVOMOTOR TOWER PRO SG-5010	62
TABLA 5-5: TABLA DE PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE ARDUINOS .....	63
TABLA 5-6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ARDUINO LEONARDO .....	65
TABLA 6-1: PRUEBAS DE AGARRE CON FUERZA CON UN HOMBRE DE 80KG DE PESO .....	85
TABLA 6-2: PRUEBAS DE AGARRE DE FUERZA CON UNA MUJER DE 50 KG DE PESO .....	86
TABLA 6-3: PRUEBAS DE AGARRE CON UNA MUJER DE 50KG DE PESO.....	87
TABLA 6-4: PRUEBAS DE AGARRES DE PRECISIÓN CON UN HOMBRE DE 80KG DE PESO .....	88

<b>TABLA 6-5:</b> PRUEBAS DE PRECISIÓN DE FUERZA CON UNA MUJER DE 50 KG DE PESO .....	88
<b>TABLA 6-6:</b> PRUEBAS DE PRECISIÓN DE FUERZA CON UN HOMBRE DE 65 KG DE PESO .....	89
<b>TABLA 6-7:</b> COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO .....	91
<b>TABLA 6-8:</b> COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO .....	92
<b>TABLA 6-9:</b> COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....	92

## **LISTA DE ABREVIATURAS**



CAD Diseño asistido por Computadora

PLA Plástico Acido Polilactico

ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno

# CAPITULO I

## 1.1. Antecedentes

La sustitución de las extremidades humanas perdidas utilizando dispositivos externos se ha practicado por más de dos mil años. A través del tiempo estos dispositivos externos han evolucionado, entrando en el campo de la robótica, en particular en dispositivos biónicas. Estos han proporcionado extremidades suplementarias al amputado.

Estas extremidades artificiales están siendo perfeccionadas cada día. Este proyecto consiste en desarrollar el proyecto "Diseño de prótesis automatizada" y para mejorar el diseño y construcción de un dispositivo protésico inteligente para el miembro superior.

Las amputaciones de las extremidades se dan por diferentes casos, bien puedan ser distintos accidentes o problemas genéticos de mal formación. Es decir, este proyecto atenderá la necesidad de una gran población que carece de esta extremidad.

Las prótesis externas no solo ayudan a un mayor confort de la persona, sino, también tienen un impacto positivo psicológico y estético al ver que la parte perdida puede sustituirse y cumplir con operaciones que ya no eran posible realizar.

Las prótesis más utilizadas son las de gancho, pero estas no tienen una forma estética, y, además, solo cumplen con la función de sujeción de elementos. Este tipo de prótesis tienen de igual forma la desventaja que son accionadas manualmente, no trabajan de una manera independiente.

### **Planteamiento del problema**

Por la necesidad de reemplazar extremidades amputadas en diferentes accidentes, sean laborales o de otro tipo, se ha considerado desarrollar el proyecto de una prótesis automatizada y las mismas sintetizan el mejor aspecto estético, tienen gran fuerza y velocidad de presión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación.

La capacidad intelectual del ser humano ha hecho posible encontrar soluciones prácticas a los problemas y retos que el camino a la modernización ha presentado en las distintas etapas de avances tecnológicos y que han marcado los registros históricos del desarrollo y mejoramientos de métodos ergonómicos.

Las exigencias del mercado nacional actual, obligan a las empresas a buscar métodos de producción cada vez más rápidos, eficientes y que puedan mantener o superar las expectativas de calidad del cliente, es por eso que no se puede dejar de lado la seguridad de los trabajos a un lado la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo es muy útil y necesaria para poder ir a la par con los nuevos procesos y las exigencias del mercado sin que el personal sufra de algún tipo de enfermedad laboral a corto o largo plazo.

La integración de los principios ergonómicos en el diseño de los procesos propios de la ingeniería de fabricación es una práctica cada vez más habitual en las empresas. En este sentido, las lesiones musculoesqueléticas tiene una repercusión muy importante en el puesto de trabajo. La evaluación y medición de los factores de riesgo para este tipo de lesiones es un paso importante para conseguir un puesto de trabajo de excelencia. (GARCÍA, et al., 2013)

La facilidad de poder detectar estos riesgos en tiempo real y con el menor tiempo empleado es de gran importancia ya que nos permite tomar decisiones claras acerca del riesgo al que se pueden enfrentar los trabajadores.

## **1.2. Justificación**

### ***1.2.1. Justificación teórica.***

Diferentes tipos de accidentes laborales, o de otro tipo, incluso enfermedades; son causantes de que una persona esté siendo amputada cada 30 segundos en el mundo una de sus extremidades. Esto nos deja lugar a la creación de diferentes prótesis, siendo las más comunes las prótesis mecánicas y eléctricas. Lo que buscamos con la creación de una prótesis automatizada es la eliminación de un control externo a estas prótesis, es decir, que la prótesis automatizada sea accionada con los músculos de la misma persona sin necesidad de un control externo.

### ***1.2.2. Justificación metodológica.***

El punto de partida son los conocimientos impartidos en la cátedra de automatización de procesos.

El actual trabajo de titulación se justifica metodológicamente, por cuanto se desarrollarán y crearán instrumentos para recolectar y evaluar los datos que arrojen la aplicación de automatización de una prótesis, del brazo izquierdo, mediante sensores electro musculares.

### ***1.2.3. Justificación práctica.***

Por las diferentes causas existentes la amputación de extremidades es constante a nivel mundial, por lo tanto, con un prototipo de prótesis automatizada busca mejorar el estilo de vida de las personas afectas. Para ello pondremos en práctica lo aprendido en las cátedras de automatización de procesos, simulación de procesos, en donde estudiaremos movimientos antropométricos humanos para un mejor confort de la persona que utilice dicha prótesis.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivos Generales***

Realizar un prototipo de prótesis automatizada totalmente funcional activada por medio de sensores electro musculares (brazo izquierdo) analizando los parámetros y medidas que se ajusten a la necesidad de una población.

### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Determinar las medidas del brazo.
- Estudiar los movimientos del brazo.
- Determinar los grados de libertad de los elementos móviles del brazo para el diseño de la prótesis.
- Diseñar la prótesis.
- Realizar la construcción del prototipo.
- Programar los Arduinos en base a estos grados de libertad.

- Realizar la conexión entre Arduino, sensor y servomotor.
- Realizar las diferentes pruebas conectado a los músculos humanos.
- Ensamblar el prototipo.

#### **1.4. Planteamiento de la hipótesis**

El desarrollo de una prótesis automatizada es realizado con la finalidad de otorgar mayor confort y que la prótesis sea más funcional para la persona que la utiliza.

##### ***1.4.1. Determinación de variables***

El desarrollo y construcción de un prototipo de prótesis automatizada, permitirá mejorar el estilo de vida de personas que han perdido sus extremidades por amputaciones cuales sean las causas, de esta manera se busca el confort de la persona y sobre todo se busca la reinserción de los afectados en una vida laboral completa.

- Variable Independiente

Análisis de movimientos antropométricos humanos, medidas antropométricas para la construcción de la prótesis.

- Variable dependiente.

Movimientos que realiza la prótesis dependiendo del bíceps izquierdo o derecho que lo impulse.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Amputación.

(González, et, 2005) Afirma la amputación es la extirpación de un órgano o una extremidad del cuerpo, esta puede ser total o parcial. En forma general se da quirúrgicamente, de igual forma existen personas que sufren de extremidades amputadas por mal formaciones genéticas.

##### 2.1.1. Tipos de amputación en extremidades

Amputación adquirida: es la amputación de una extremidad después del nacimiento, es decir, esta es amputada por algún tipo de accidente o enfermedad que deja inviable la extremidad. (Vining- Radomsky & Latham, 2008)

Amputación transhumeral: esta se da cuando la extirpación del brazo se da por encima del codo, es decir, a través del humero (Figura 2-1)

**Figura 1-1:** Amputación transhumera



Fuente: <https://www.efisioterapia.net/articulos/diario-amputacion-proposito-caso>

Amputación transradial: extirpación del brazo a través del radio y cubito, se da bajo el codo. (Figura 2—2)

**Figura 2-2:** Amputación transradial



Fuente: <http://protesica.com.co/nivel-de-amputacion/>

## 2.2. Causas de amputación

Una amputación puede ser resultado de muchas causas:

(Vining, et al, 2008,pp. 29) Afirma:

- Daño traumático que puede ocurrir como resultado de un accidente de autos o en el uso de maquinarias.
- Enfermedades como patologías vasculares, tumores o infección.
- Alteraciones congénitas de las extremidades, que presentan ausencia o desarrollo parcial de estos.

## 2.3. Amputaciones en articulaciones superiores

El 57% de las amputaciones de brazo son transhumerales, sobre codo a través del humero por lo que la mayor parte de amputados pierden el brazo casi en su totalidad, es decir, únicamente conservan una parte del humero dejando una extremidad sin funciones de agarre y con un único grado de libertad en el hombro. Siendo este causado en un 75 % por accidentes de trabajo en personas de 15 – 45 años de edad, dejando únicamente el 25% causado por enfermedades o causas congénitas.

El objetivo quirúrgico en las amputaciones siempre será conservar la mayor parte del brazo, intentar dejarlo lo más largo y funcional posible. El momento de la extirpación el cirujano siempre buscara conservar músculos, hueso, piel y cardiovasculares que logren mantener más largo el brazo.

## **2.4. Prótesis**

(Flores, et al., 2004) nos dicen: “Una prótesis es un elemento externo que tiene la finalidad de suplir una parte o un miembro completo del cuerpo humano extirpado, es así, que una prótesis ayuda al afectado psicológicamente entregándole una sensación de totalidad al recobrar sensación, movilidad y aspecto de este.”

### **2.4.1. *Reseña histórica de las prótesis***

La prótesis más antigua fue encontrada en lo que se piensa que fue una mujer egipcia, la cual estaba momificada; dicha prótesis data de los años 950 a 710 AC. Esta prótesis está sujeta al antebrazo por medio de un cartucho.

Con el paso del tiempo y un mejor manejo del hierro, en los años 218 – 202 AC, el general Marcus Sergius realiza una prótesis de hierro más resistente, la cual fue utilizada por el mismo en la Segunda Guerra Púnica, esta prótesis le servía para sostener su espada.

En el año 1400 es cuando se crea una prótesis de hierro, pero esta tenía un pulgar fijo y dedos flexibles. También existía movimiento en la muñeca. (Vitali, et al., 2010)

Leonardo Da Vinci, primer ingeniero biónico, se encargó del estudio del funcionamiento de los seres vivos para aplicarlos en máquinas. Las prótesis al ser un reemplazo de una extremidad deben realizar los mismos movimientos y cumplir las mismas funciones, es por ello, que el estudio de prótesis es netamente biónico. (Dorador, 2004, pp.3)

La evolución ha llevado a la creación de la bio mecatrónica, que es la ciencia encargada de estudiar el funcionamiento conjunto entre humanos y máquinas, llegando a su mayor pico de estudio con la Re inervación muscular dirigida. (García, 2014a, pp. 281)



Leonardo Da Vinci, primer ingeniero biónico, se encargó del estudio del funcionamiento de los seres vivos para aplicarlos en máquinas. Las prótesis al ser un reemplazo de una extremidad deben realizar los mismos movimientos y cumplir las mismas funciones, es por ello, que el estudio de prótesis es netamente biónico. (Dorador, 2004, p.3)

La evolución ha llevado a la creación de la biomecatrónica, que es la ciencia encargada de estudiar el funcionamiento conjunto entre humanos y máquinas, llegando a su mayor pico de estudio con la Re inervación muscular dirigida. (García, 2014b, pp. 281)

#### **2.4.2. Tipos de prótesis**

Clasificaremos a las prótesis en tres grupos según su función que son: activas, pasivas e híbridas.

##### **2.4.2.1. Prótesis Activas**

Estas prótesis son también llamadas prótesis de fuerza propia, comúnmente en el terminal de la prótesis tiene un garfio o una mano mecánica para la sujeción. Es una prótesis funcional la cual funciona únicamente por medio de tracción, es decir, es totalmente dependiente de otra fuerza que la active. (Figura 2-3)

**Figura 3-3:** Prótesis mecánica de garfios



Fuente: <http://www.arcesw.com/pms1.htm>

#### 2.4.2.2. *Prótesis pasivas*

Su función básica es la estética, es decir, cumple únicamente con el deber de mejorar el aspecto de quien la usa, atiende al confort y confianza de la persona. No tiene un movimiento mecánico. (Figura 2-4)

**Figura 4-4:** Prótesis Pasiva



Fuente: <http://centrobionico.com/pages/protesis/extremidad-superior.php>

#### 2.4.2.3. *Prótesis híbridas*

Estas prótesis son un conjunto de las dos nombradas anteriormente, cumplen con la estética y además tiene movimientos mecánicos. (Figura 2-5)

**Figura 5-5:** Prótesis Híbrida



Fuente: <http://lasprotesis.angelfire.com/4.htm>

## 2.5. **Antropometría**

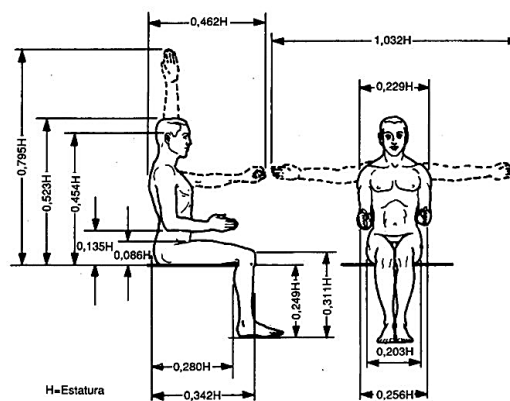
La antropometría se encarga del estudio de varias dimensiones existentes en el cuerpo humano. Este estudio nos ayudara para aplicar en nuestro diseño, debido a que nos ayudara a encontrar con exactitud las dimensiones y alcanzas del brazo en nuestro caso. Las dimensiones varían según la persona, es por eso que para identificar las diferentes

dimensiones se han dividido en diferentes grupos poblacionales, es así, que se agrupan en como: género, edad, grupo étnico, país.

### 2.5.1. Antropometría de reposo

Más conocida como la antropometría estática, esta antropometría estudia las dimensiones del cuerpo en total estado de reposo. Estas dimensiones nos ayudaran identificar el alcance del brazo. (Figura 2-6)

**Figura 6-6:** Antropometría estática de un cuerpo sentado en total reposo

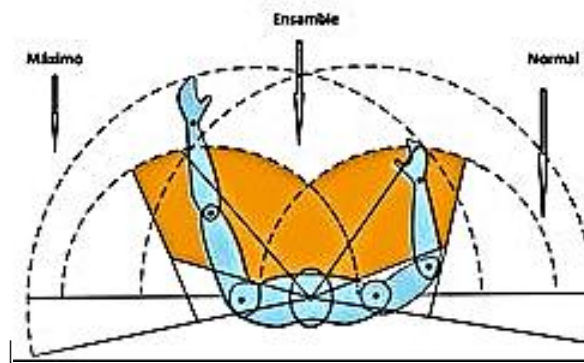


Fuente: <http://antropometriaerika.blogspot.com/>

### 2.5.2. Antropometría de movimiento

También llamada antropometría dinámica, es la que estudia las actividades o funciones del cuerpo humano, es decir, todos los desplazamientos que este realiza para desarrollar cualquier tipo de actividad, en estos desplazamientos involucramos: desplazamientos horizontales, verticales y axiales. La siguiente imagen identifica la forma en que se desplazan los brazos. (Figura 2-7)

**Figura 7-7:** Antropometría dinámica desplazamiento de brazos

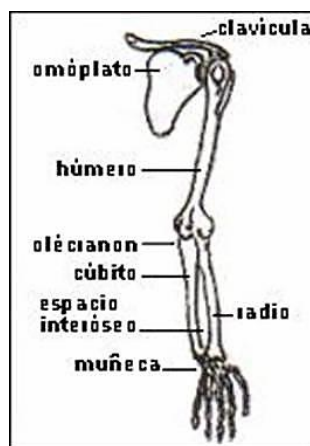


Fuente: <https://goo.gl/ogFKb9>

## 2.6. Estudio anatómico de la extremidad superior

La extremidad superior es la extremidad que está fijada al tronco por medio del hombro, es así, que podemos decir que el brazo se compone de cuatro partes, hombro, brazo, antebrazo y mano. (Figura 2-8)

**Figura 8-8:** Estructura Ósea del brazo

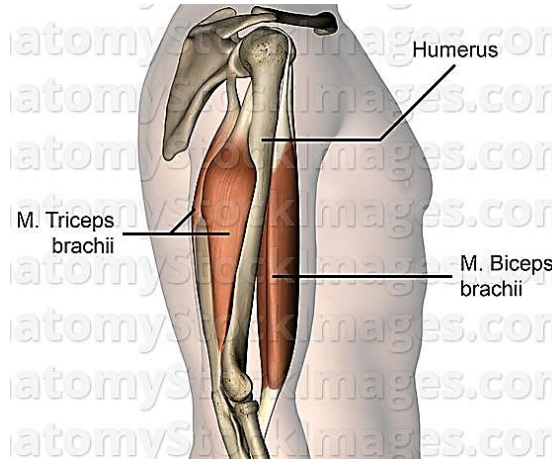


Fuente: <https://goo.gl/NyoWTy>

### 2.6.1. *Brazo.*

Está constituido por dos músculos principales que son el bíceps y tríceps. Además, que posee únicamente un hueso en su estructura ósea: el humero. (Figura 2-9)

**Figura 9-9:** Anatomía del brazo

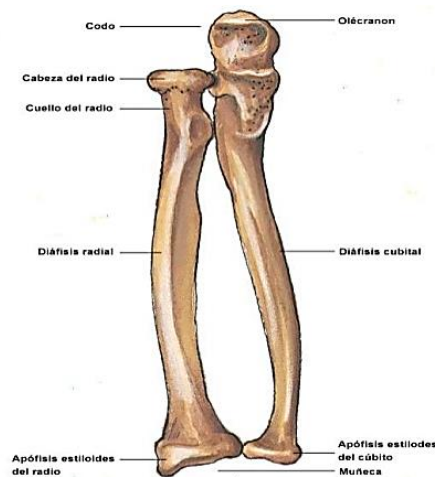


Fuente: <https://goo.gl/RZZDWu>

### 2.6.2. *Antebrazo*

Es la parte de la extremidad superior que se extiende desde el codo hasta la muñeca. Está formado por una serie de músculos y su estructura ósea consta de dos huesos: cúbito y radio. (Figura 2-10)

**Figura 10-10:** Anatomía de antebrazo



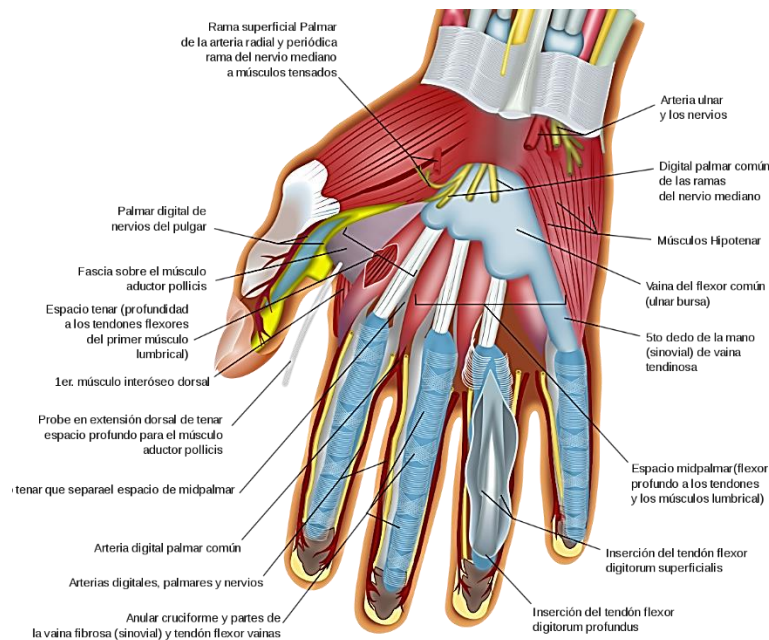
Fuente: [https://es.slideshare.net/RM9\\_BUAP/huesos-del-antebrazo](https://es.slideshare.net/RM9_BUAP/huesos-del-antebrazo)

### 2.6.3. Mano

Esta es una pieza esquelética articulada, que consta de cinco radios óseos que son el metacarpo, de donde se desprenden cinco apéndices igualmente articulados que son los cinco dedos de la mano.

Es por eso que haremos especial énfasis en el estudio de la mano, tomando en cuenta diferentes aspectos como son: el ser humano utiliza su mano como primer contacto para conocer y desenvolverse en el mismo; el ser humano crea artefactos, herramientas, y diferentes utensilios para la vida diaria pensando en que estos serán manipulados por la mano; de igual manera la mano cumple con funciones de aprehensión o manipulación de objetos, en donde, podemos observar diferentes fuerzas de agarre, grados de libertad de movimientos y pesos que la misma puede soportar. (Figura 2-11)

**Figura 11-11: Anatomía mano humana**



Fuente: <https://goo.gl/ywioh6>

#### 2.6.3.1. Dedos

Constituidos por tres piezas esqueléticas: falange, falangina y falangeta, a excepción del dedo pulgar que consta únicamente de dos falanges. Los cinco dedos son: pulgar, índice o dedo mayor, dedo medio o cordial, dedo anular, y el meñique. (Figura 2-12)

**Figura 12-12: Dedos de la mano**



**Fuente:** <https://goo.gl/kkHBGr>

#### 2.6.3.2. *Dedos*

(Chao, 1989) Dice: “El estudio de los movimientos de la mano es indispensable para realizar nuestra prótesis. Debemos conocer que la muñeca es la parte de la mano que soporta todos los movimientos, la muñeca tiene dos grados de libertad, el mismo número de grados de libertad poseen los dedos, los cuales empiezan a ser articulados en la palma de la mano en la articulación metacarpo falangeal.

Los posibles movimientos de la mano se dan en torno a dos ejes, es así, como podemos decir que la mano se mueve en forma de flexión y extensión, y abducción y aducción, a estos movimientos se puede añadir rotación axial de origen pasivo.”

#### **Flexión y Extensión**

La flexión es el movimiento en el cual las partes de la mano se aproximan en dirección anteroposterior, este movimiento es paralelo al plano sagital. Esto se da gracias a la contracción de músculos flexores. Mientras tanto la extensión es el movimiento opuesto a la flexión que distancia nuevamente las partes de la mano gracias a músculos extensores. (Cooper, 2007)

Un estudio con 120 individuos sanos, de entre 18 y 35 años de edad como resultado los siguientes grados de flexión y extensión en los diferentes dedos de la mano, cabe recalcar que este estudio se da de forma activa/ pasiva. (Tabla 2-1)

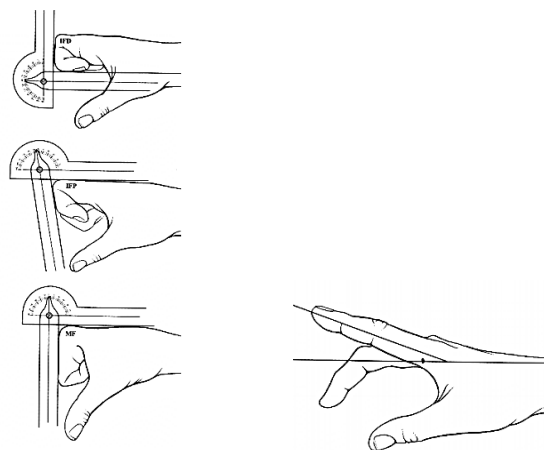
**Tabla 2-1:** Grados de flexión y extensión de la mano

GRADOS DE EXTENSION Y FLEXION DE LOS DEDOS DE LA MANO				
	INDICE	CORAZON	ANULAR	MEÑIQUE
EXTENSION	22 <sup>o</sup>	18 <sup>o</sup>	23 <sup>o</sup>	19 <sup>o</sup>
FLEXION	86 <sup>o</sup>	91 <sup>o</sup>	99 <sup>o</sup>	105 <sup>o</sup>

Fuente: Autor.

Cabe recalcar que estos datos son medidos con los dedos en extensión plena y en flexión son medidos tras cerrar el puño. (Figura 2-13)

**Figura 13-13:** Movimientos de Flexión y Extensión de los dedos.



Fuente: <https://goo.gl/BpgXRP>

### Abducción y aducción

Este movimiento se centra en el dedo corazón, los dos movimientos se sitúan en la palma de la mano. La abducción es el movimiento de los dedos alejándose del dedo corazón, mientras que la aducción es el movimiento en el cual los dedos se acercan al mismo dedo.

Los grados de los dedos en abducción y aducción son (Tabla2-2):

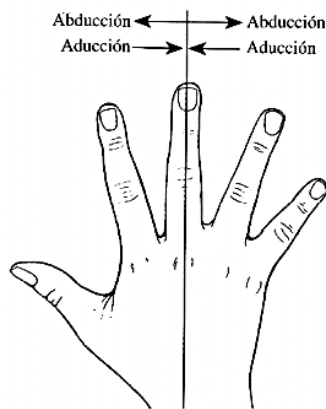


**Tabla 2-2: Grados de abducción y aducción**

GRADOS DE ABDUCCION Y ADUCCION DE LOS DEDOS DE LA MANO				
	INDICE	CORAZON	ANULAR	MEÑIQUE
ABDUCCION	50°	40°	38°	57°
ADUCCION	62°	53°	55°	68°

Fuente: Autor.

**Figura 14-14:** Movimientos de abducción y aducción de la mano.



Fuente: Field D, Et.2000, p 67

### **Agarres de la mano**

Los agarres de la mano pueden ser de precisión o de fuerza.

### **Agarres de precisión**

Estos agarres son los utilizados para manipular pequeños objetos, en donde, el agarre se da entre el dedo pulgar y las caras de los demás dedos. (Figura 2-15)

**Figura 15-15:** Agarre de Precisión



Fuente: <https://goo.gl/FLP5hq>

### **Agarres de fuerza**

Este agarre es cuando los dedos están flexionados en las tres articulaciones, la presión del agarre hace centro en la palma de la mano. (Figura 2-16)

**Figura 16-16:** Agarres de fuerza.



Fuente: <https://goo.gl/FLP5hq>

### **2.7. Biomecánica**

Es la ciencia encargada de estudiar los fenómenos cinemáticos y mecánicos en el cuerpo humano, es por eso que es una parte importantísima dentro de la robótica. Gracias a la biomecánica se logra reproducir movimientos humanos en prototipos físicos para la robótica.

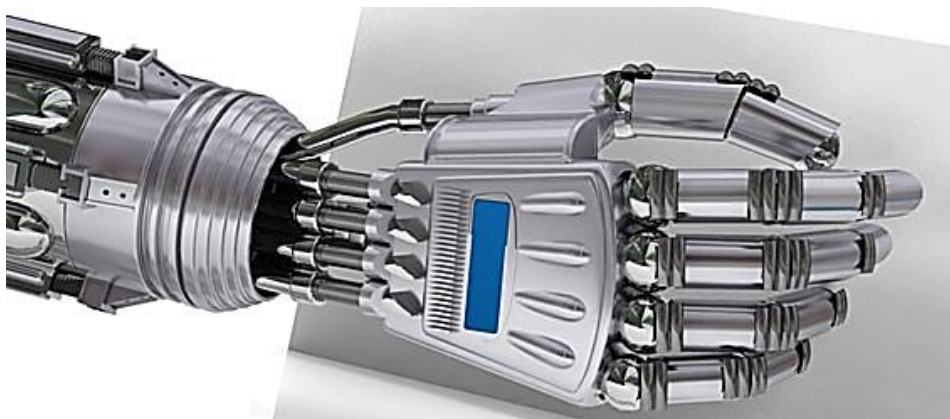
### 2.7.1. Robótica

(Estrella, 2014, p. 99.) menciona es la rama de la tecnología capaz de diseñar y construir prototipos totalmente automatizados. La robótica combina diversas áreas tecnológicas como; la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y mecánica para la formación de robots. Del término robots es de donde se deriva este nombre.

### 2.7.2. Prótesis de brazo robótica

Esta prótesis es un elemento electrónico y mecánico capaz de reproducir movimientos de un brazo humano, muy cercanos a la realidad. En este caso será controlado mediante sensores electro musculares. (Figura 2-17)

**Figura 17-17:** Brazo Robótico

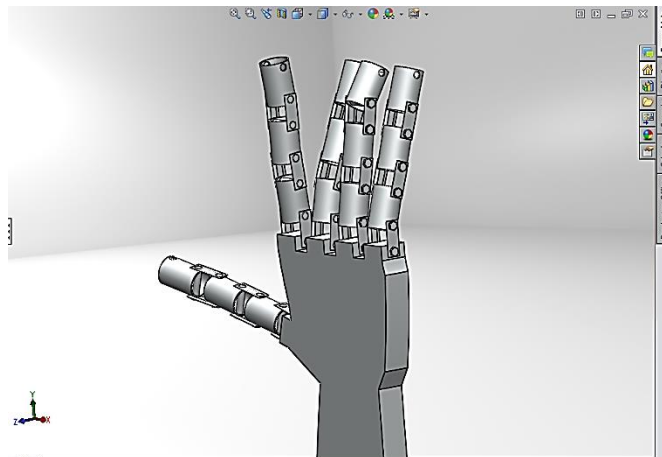


Fuente: <https://goo.gl/c5qR1G>

## 2.8. CAD (dibujo asistido por computadora)

Existen varios programas que son parte de CAD, nos ayudan a diseñar y simular elementos mecánicos, arquitectónicos, etc. En nuestro caso es el que nos ayudara a diseñar la prótesis. En este caso se utilizará la plataforma FreeCAD y SolidWorks conjuntamente, son muy similares. El software SolidWorks nos servirá para diseñar, modelar y simular el prototipo. El FreeCAD lo utilizaremos para guardar nuestros archivos en extensión STL. (Figura 2-18)

**Figura 18-18:** Diseño de mano en SOLIDWORKS



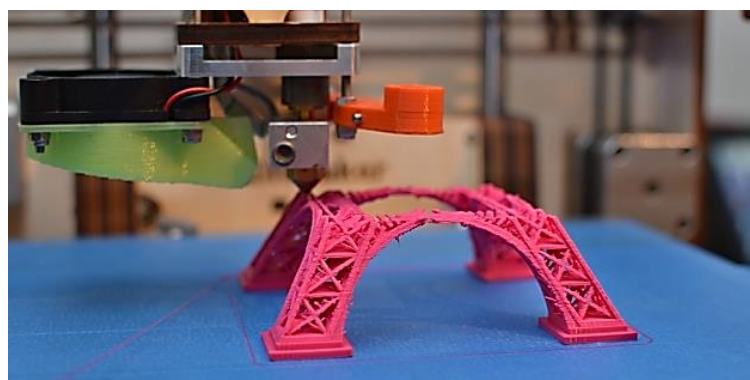
Fuente: <https://www.emaze.com/@ALIQZCTR>

### 2.8.1. *Impresión 3d*

Por medio de este sistema podemos obtener piezas tridimensionales que posteriormente fueron diseñadas en un sistema CAD, para lograr la impresión se necesitan filamentos, que será el material fundido el cual dará origen a una pieza que se ira formando por capas; los extrusores encargados de los fundidos de filamento serán los que vayan creando líneas, que a su vez crearán capas y posteriormente la pieza. Estas capas muchas veces se forman de manera hexagonal para tener una gran resistencia.

Es extrusor se mueve a lo largo de los tres ejes X,Yy Z, para ir formando la pieza. La impresora funciona como un mecanismo CNC, debido a que los archivos deben ser en código G. (Figura 2-19)

**Figura 19-19:** Impresión 3D



Fuente: <http://www.cer-multimedia.com.ar/home/impresoras-3d-que-hay-que-saber/>

### 2.8.1.1. *Materiales*

Vamos a enfocarnos en filamentos plásticos que son los más utilizados: ABS y PLA.

#### **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):**

Está hecho a base de petróleo, es por eso, que se debe trabajar en lugares con buena ventilación, ya que, al momento de su fundición puede desprender vapores nocivos para la salud.

Se lo llama plástico de ingeniería, debido a que su elaboración es más compleja que otros plásticos. Tiene propiedad de rigidez que es proporcionado por el acrilonitrilo, esto lo hace muy resistente y fuerte a golpes, además, en su estructura los bloques de butadieno le proporcionan la propiedad de tenacidad a casi cualquier temperatura. La temperatura de fundición de este plástico oscila entre 200° y 230° centígrados.

En el mercado son muy utilizados en cascos, partes automotrices, juguetes, elementos de oficina, elementos eléctricos. Cabe recalcar que en el mercado los podemos encontrar en diferentes colores y grosor según sea la necesidad del cliente. (Figura 2-20)

**Figura 20-20:** Filamentos hechos de ABS.



Fuente: <http://44p14.rosewatch.xyz/>

### **Plástico ácido poliláctico(PLA):**

Este es un plástico biodegradable, derivado del almidón que se lleva muy bien con el medio ambiente y, además, no es nocivo para la salud.

No tiene una gran resistencia a golpes como el ABS, pero para nuestro uso es ideal, debido a que no es nocivo para la piel humana, tiene un costo más bajo en el mercado y se pega muy bien en la cama caliente de la impresora 3D.

La fundición de este plástico oscila entre temperaturas de 180° y 210° centígrados. De igual forma que el ABS encontramos en el mercado diferentes colores y grosores. (Figura 2-21)

**Figura 21-21: Plástico PLA**



Fuente: <http://www.freekiland3d.com/materiales/>

## **2.9. Componentes**

Nuestra prótesis está compuesta por varios componentes electrónicos y mecánicos.

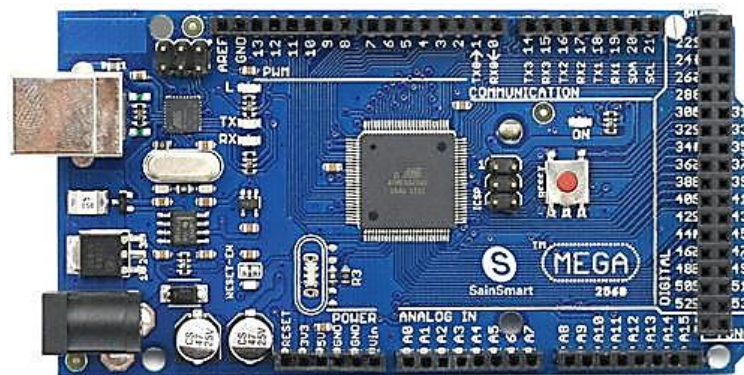
## 2.9.1. Componentes electrónicos

### 2.9.1.1. Arduino

Es una herramienta, que podríamos describir como una computadora la cual nos permite interactuar con el mundo y es portátil, es decir, es mucho más manipulable que una computadora de escritorio

El arduino es una plataforma de código abierto, la cual puede albergar programaciones que serán útiles para accionar diferentes elementos por medio de un microcontrolador. (Figura 2-22)

**Figura 22-22:** Arduino MEGA 2560



Fuente: <https://goo.gl/xKgZCB>

### 2.9.1.2. Servomotores

Son un tipo de motor de corriente continua. Está compuesto por un motor, una caja reductora y un circuito. El servo tiene un eje de posición controlado, el cual proporciona el movimiento, el principio de funcionamiento del eje es por medio de engranajes que se encuentran dentro de la caja. En el caso de la prótesis utilizaremos servos de giro de 180°, pero cabe recalcar que los servos pueden ser modificados y convertirse en motores de giro completo. (Figura 2-23)

**Figura 23-23:** Servomotor Tower Pro MG 90D



Fuente: <http://tdrobotica.co/servo-micro-giro-limitado-sg90d-24kg-cm/841.html>

### 2.9.1.3. *Sensor Electro muscular*

Este dispositivo electrónico logra captar las cargas eléctricas que son producidas por los músculos y las convierte en señales que van a ser usadas en la codificación de nuestro sistema. (Figura 2-24)

**Figura 24-24:** Sensor electro muscular MyoWare



Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/13723>



## 2.10. Componentes mecánicos

Entre los principales componentes mecánicos se debe mencionar a los engranajes, poleas y los tornillos de fijación.

### 2.10.1.1. Engranajes

(Benitez, 2011, p. 25): “Los engranajes son ruedas dentadas que transmiten movimiento circular y potencia entre eje, por medio del empuje, de esta forma garantizan que no hay un patinamiento de las ruedas dentadas.” (Figura 2-25)

**Figura 25-25:** Engranajes

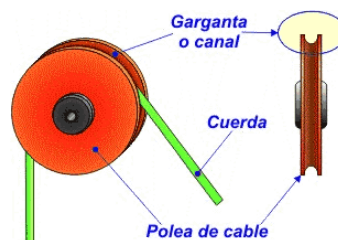


Fuente: <http://www.gestiondecompras.com/es/productos/componentes-mecanicos-y-de-ferreteria/engranajes>

### 2.10.1.2. Poleas

Es un dispositivo mecánico que sirve para transmitir una fuerza. Consiste en una rueda con un canal por el cual va a pasar una cuerda y el cual gira sobre un eje central. (Figura 2-26)

**Figura 26-26:** Polea



Fuente:

[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_poleacable.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_poleacable.htm)

### 2.10.1.3. Tornillo de fijación

Es un mecanismo dispuesto para la sujeción de partes temporalmente, está dotado de una caña con rosca triangular. (Figura 2-27)

**Figura 27-27:** Tornillos de fijación



Fuente: [http://dentoflex.com.br/esp/kit\\_cirurgico.html](http://dentoflex.com.br/esp/kit_cirurgico.html)

## CAPITULO III

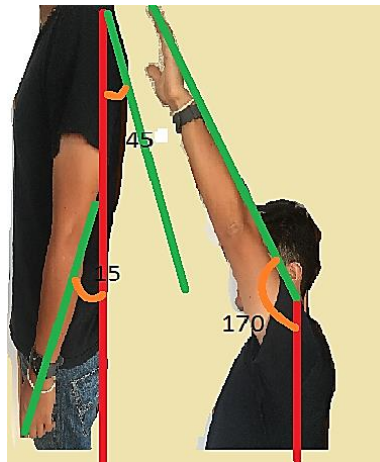
### 3. ESTUDIO DE MEDIDAS Y DIMENSIONES.

#### 3.1. Determinación de ángulos

##### 3.1.1. *Ángulos del brazo respecto a la vertical*

Este estudio de ángulos se realizó con un individuo en reposo, es decir, en antropometría estática. Con estas medidas lo que se logra conocer es la posición inicial en donde se encontrara el brazo izquierdo con respecto a la vertical y su amplitud con el brazo extendido hacia arriba. (Figura 3-1)

**Figura 3-1:**Ángulos brazo izquierdo



Fuente: Autor.

Ver tabla de resultados (3-1).

**Tabla 3-1:** Descripción de ángulos brazo izquierdo

<b>Determinación de posición del brazo</b>	
<b>Segmento</b>	<b>Angulo respecto a la vertical</b>
<b>Hombro</b>	45 <sup>0</sup>
<b>Codo</b>	15 <sup>0</sup>
<b>Amplitud de brazo</b>	170 <sup>0</sup>
<b>Amplitud de codo</b>	120 <sup>0</sup>
<b>Desviación de muñeca</b>	100 <sup>0</sup>
<b>Giro de muñeca</b>	120 <sup>0</sup>

Fuente: Autor

### **3.1.2. Manipulación de cargas**

Ergonómicamente el hombre puede soportar cargas hasta de 35 kg. Sin ninguna complicación por periodos cortos de tiempo. Este peso está repartido a lo larga del cuerpo, pero se apoya sobre las manos, por ello, llegamos a la conclusión de que el un hombre entre 24 y 35 años puede soportar esta carga, además, la fuerza de agarre de su puño será de 16 kg

### **3.2. Longitudes principales.**

Las longitudes de los diferentes segmentos del cuerpo humano varían en cuanto a aspectos de: género, raza, edad y sobre todo la estatura del individuo.

#### **3.2.1. Recolección de información.**

La recolección de información se hizo en base a métodos estadísticos para que nuestras longitudes sean más precisas.

Observación: identificamos individuos en peligro potencial de tener accidentes en donde puedan perder el brazo.

Entrevista: conversamos con los operarios acerca del número de accidentes que han tenido anteriormente en sus extremidades superiores, de igual manera, formulamos preguntas a modo de conservación para que el operario se sienta a gusto y nos permita obtener la información necesaria para nuestros parámetros.

Instrumentos: la recolección de información acerca de las longitudes principales se realizó en base a un flexómetro para las estaturas de los operarios, una cinta métrica para los segmentos y un calibrador o pie de rey para los diferentes radios de circunferencia.

Hoja de Datos: Se llenó una hoja de datos con la información respectiva acerca de los operarios para que sea manejada de la mejor manera posible en el momento de obtener datos finales.

Toda esta obtención de información sirve para la construcción y diseño de nuestra prótesis, ya que así se asemejará más a las medidas reales y será útil para la mayoría de la población en estudio.

### ***3.2.2.1. Población y muestra***

Debido a que el estudio lo hacemos dentro de una empresa, que tiene nueve operarios decimos que la población es la muestra.

Este estudio se hace dentro de una curtiembre, la decisión de hacerlo aquí es porque los operarios en sus actividades tienen peligros en donde podrían incluso perder sus extremidades sobre todo superiores.

Esta población es la de la CURTIEMBRE ZUÑIGA HNOS., dentro de la misma los operarios manipulan diferentes equipos donde un descuido o un accidente podrían mutilar una de sus extremidades superiores. (Figura 3-2) y (Figura 3-3)

**Figura 3-2:** Operario Zúñiga Hnos. trabajando con máquina que puede sufrir atrapamiento de sus extremidades superiores.



Fuente: Autor.

**Figura 3-3:** Operario Zúñiga Hnos. trabajando con máquina que puede sufrir atrapamiento de sus extremidades superiores.



Fuente: Autor.

#### 3.2.2.2. Información necesaria

La información necesaria de los operarios para determinar las longitudes del brazo izquierdo son las siguientes:

- Edad.
- Estatura.
- Longitud de la mano.
- Alcance mínimo del brazo.
- Alcance máximo del brazo.
- Diámetro de agarre interior.
- Longitud del antebrazo.

Una vez establecida esta información se procede a recolectar la misma por medio de la hoja de datos. Estos datos se van a ver representados en la (Tabla 3-2).

**Tabla 3-2:** Información obtenida de Operarios.

<b>Datos</b>	<b>Trabajadores</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Edad</b>	26	27	28	23	36	40	24	30	27
<b>Estatura. (cm)</b>	180	175	170	186	185	179	169	173	180
<b>Longitud de la mano. (cm)</b>	19	19,1	18,5	19,5	18,5	18	18	18,5	19
<b>Alcance mínimo del brazo con agarre. (cm)</b>	38	37	35	38,5	39	38	34,5	35	38
<b>Alcance mínimo del brazo sin agarre. (cm)</b>	48	47	45	48,5	49	48	44,5	45	48
<b>Alcance máximo del brazo con agarre. (cm)</b>	63	60	58	63	64	63	57	58	63
<b>Alcance máximo del brazo sin agarre. (cm)</b>	73	70	68	73	74	73	67	68	73
<b>Diámetro de agarre interior. (cm)</b>	6	5	4	6	4,5	6	4	4	6
<b>Longitud del antebrazo(cm)</b>	30,5	29,5	28,5	30	30,5	30	18,5	28	30

Fuente: Autor.

Con estos datos obtenidos, aplicamos pruebas estadísticas para que los resultados del diseño de la prótesis tengan medidas que puedan ser útiles para la mayor parte de los operarios de la empresa.

Lo primero que vamos a hacer será calcular un percentil, el cual nos ayuda a incluir la mayor parte de la empresa. En este caso el percentil a utilizar será del 95%, esto quiere decir que se incluirá un 95% de la población de trabajadores y solo un 5% será excluido por así decirlo.

El cálculo de este percentil debe ser hecho ya que las medidas de la prótesis deben ser semejantes a las medidas reales del promedio de los trabajadores.

Para calcular el percentil aplicamos.

$X =$  media

$\sigma =$  desviación estándar

$Z =$  es el número de veces que sigma está separada de la media.

*Media:* es el promedio del conjunto de datos obtenidos.

*Desviación estándar:* es la dispersión con respecto a la media de un conjunto de datos, esto nos sirve para obtener datos más acordes a los reales y tomar decisiones en la interpretación de estos datos para que la prótesis sea más útil en la población.

$Z:$  estos son los valores críticos que existen para que haya un nivel de confianza, es decir, son valores que compensan la variación de resultados según nuestro nivel de confianza.

La fórmula del cálculo percentil sabiendo que  $P$  es percentil quedaría de la siguiente manera.

$$P = X + / - Z \sigma \quad (1)$$

Según la tabla  $z$  de percentiles vamos a tener el siguiente valor que será constante en  $z$  durante nuestros cálculos  $Z = 1.645$

$$Z = 1.645.$$



Fuente: \*Tomado de Robert D. Mason, Essentials of Statistics, NJ 1976, p. 307. Reimpreso con licencia de Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. Apéndice tabla 1

Conocido el valor de Z y con los datos obtenidos se procede a calcular el valor del percentil de cada uno de los segmentos medidos. Esto se hace en un programa de Excel de Office, en donde en este programa nos da la facilidad de calcular la desviación estándar de cada uno de los promedios solamente por fórmula propia del programa.

En la tabla 5 vamos a tener los datos límites máximo y mínimo del percentil, tomando en cuenta que para el diseño de la prótesis se utilizara el límite máximo. (Tabla 3-3)

**Tabla 3-3: Cálculo percentil**

Datos	Suma (cm)	Promedio (cm)	$\sigma$ (cm)	P95%(cm) mínimo	P95%(cm) máximo
<b>Longitud de la mano. (cm)</b>	168,10	18,68	0,51	17,84	19,52
<b>Alcance mínimo del brazo con agarre. (cm)</b>	333,00	37,00	1,71	34,18	39,82
<b>Alcance mínimo del brazo sin agarre. (cm)</b>	423,00	47,00	1,71	44,18	49,82
<b>Alcance máximo del brazo con agarre. (cm)</b>	549,00	61,00	2,74	56,49	65,51
<b>Alcance máximo del brazo sin agarre. (cm)</b>	639,00	71,00	2,74	66,49	75,51
<b>Diámetro de agarre interior. (cm)</b>	45,50	5,06	0,95	3,49	6,62
<b>Longitud del antebrazo(cm)</b>	255,50	28,39	3,81	22,13	34,65

Fuente: autor

Estos datos son útiles para el diseño final de la prótesis, para ello se toma en cuenta el percentil máximo.

Para el diseño de los dedos haremos la toma de mediciones en las tres partes del dedo humano: falangeta, falangina, falange; a excepción del dedo pulgar que únicamente tiene;

falangeta y falangina. Para tener mayor precisión en la toma de estos datos el instrumento a utilizar sea un calibrador o pie de rey. (Tabla 3-4)

**Tabla 3-4:** Mediciones de dedos

Dedo	Segmento Oseo	Medida de trabajadores (cm)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meñique	Falangeta	2	1,8	1,85	1,9	1,84	1,91	2	1,8	2
	Falangina	1,7	1,75	1,9	1,85	1,8	1,75	1,9	1,75	1,9
	Falange	3,9	3,5	3,75	3,85	3,8	3,9	3,8	3,55	3,9
Anular	Falangeta	2,3	1,9	2,15	2,2	2,1	1,9	2,12	1,95	2,3
	Falangina	2,3	1,8	1,9	1,85	2,1	1,95	1,8	1,95	2,3
	Falange	4,9	4,25	4,5	4,25	4,3	4,3	4,6	4,75	4,9
Medio	Falangeta	2,6	2,35	2,4	2,45	2,4	2,35	2,55	2,35	2,6
	Falangina	2,45	2	2,2	2	2,3	2,35	2	2,35	2,45
	Falange	5,4	4,65	5	4,8	5,2	4,85	5,3	4,65	5,4
Indice	Falangeta	2,5	2,2	2,3	2,35	2,45	2,4	2,3	2,2	2,5
	Falangina	2,4	1,8	2,2	2,3	2,1	2	2,3	1,8	2,6
	Falange	4,5	4	4,1	4,3	4,2	4	4,15	4,1	4,5
Pulgar	Falangeta	2,8	2,35	2,4	2,55	2,6	2,45	2,75	2,35	2,8
	Falangina	4,5	3,95	4,1	4,15	4,2	4	4,3	4	4,5

Con la información obtenida, el siguiente paso será calcular nuestro percentil de igual manera como en a tabla 5.

Nuestro percentil seguirá siendo el 95% con un  $Z= 1.645$ . En la tabla 7 se verán reflejados los cálculos de percentil máximo y mínimo, para el diseño final se tomará en cuenta el percentil máximo. Cabe recalcar que los cálculos se realizan nuevamente en Excel de Office. (Tabla 3-5)

**Tabla 3-5:** Cálculo percentil

Dedo	Segmento Oseo	Suma (cm)	Promedio (cm)	$\sigma$ (cm)	P95%(cm) mínimo	P95%(cm) máximo
Meñique	Falangeta	17,1	1,90	0,08	1,76	2,04
	Falangina	16,3	1,81	0,08	1,68	1,94
	Falange	33,95	3,77	0,15	3,53	4,02
Anular	Falangeta	18,92	2,10	0,16	1,85	2,36
	Falangina	17,95	1,99	0,20	1,67	2,32
	Falange	40,75	4,53	0,27	4,08	4,97
Medio	Falangeta	22,05	2,45	0,11	2,28	2,62
	Falangina	20,1	2,23	0,19	1,92	2,55
	Falange	45,25	5,03	0,31	4,52	5,53
Indice	Falangeta	21,2	2,36	0,12	2,17	2,55
	Falangina	19,5	2,17	0,27	1,72	2,61
	Falange	37,85	4,21	0,19	3,89	4,52
Pulgar	Falangeta	23,05	2,56	0,19	2,25	2,87
	Falangina	37,7	4,19	0,21	3,85	4,53

## CAPITULO IV

### 4. DISEÑO DE PROTESIS

#### 4.1. Fuerzas de levantamiento

La fuerza de levantamiento es aquella fuerza que se da el momento del agarre de un objeto con la mano y su posterior levantamiento.

El cálculo de esta fuerza es esencial para el diseño de la prótesis, para potenciar así el funcionamiento de esta el momento de sostener diferentes objetos. Con este cálculo se puede conocer cuál es la fuerza que soporta el brazo, por lo tanto, se evitara la exposición a un sobre esfuerzo por levantamiento y así se postergara su tiempo de funcionamiento.

Para conocer esta fuerza se realizará un cálculo donde se aplicará la siguiente formula:

$$Fg = \frac{Fm \cdot OFm}{OFg} \quad (2)$$

Cabe recalcar que en el caso en la prótesis la fuerza de movimiento está delimitada por el torque de los servomotores. En el caso del codo será el apoyo y el bíceps será la fuerza del individuo. (Figura 4-1)

En donde:

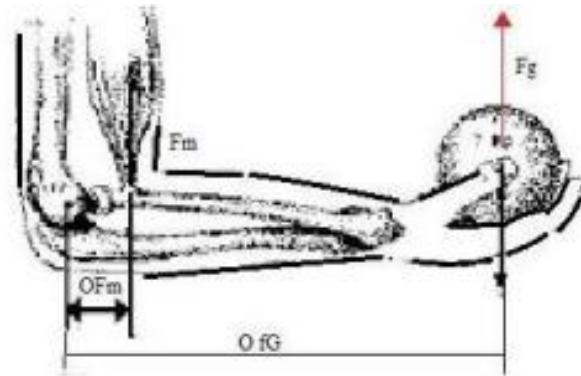
Fg= carga a levantar

Fm=Fuerza del servomotor

OFg = Distancia Brazo de palanca

OFm= distancia fuerza servomotor

**Figura 4-1: Fuerza de levantamiento**



Fuente: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

**Tabla 4-1: Datos de fuerzas y distancias.**

Segmentos	Datos		Unidades
Fuerza Servomotor	Fm	45,19	lb
Carga a levantar	Fg		lb
Distancia Ofm	Ofm	3,00	cm
Distancia Ofg	Ofg	36,50	cm

Reemplazando datos en nuestra formula quedaría de la siguiente manera:

$$Fg = \frac{45,19 \text{ lb} * 3,00 \text{ cm}}{36,50 \text{ cm}} \quad (3)$$

$$Fg = \frac{135,57 \text{ lb} * \text{cm}}{36,50 \text{ cm}} \quad (4)$$

Simplificando unidades el resultado de la fuerza nos queda en libras

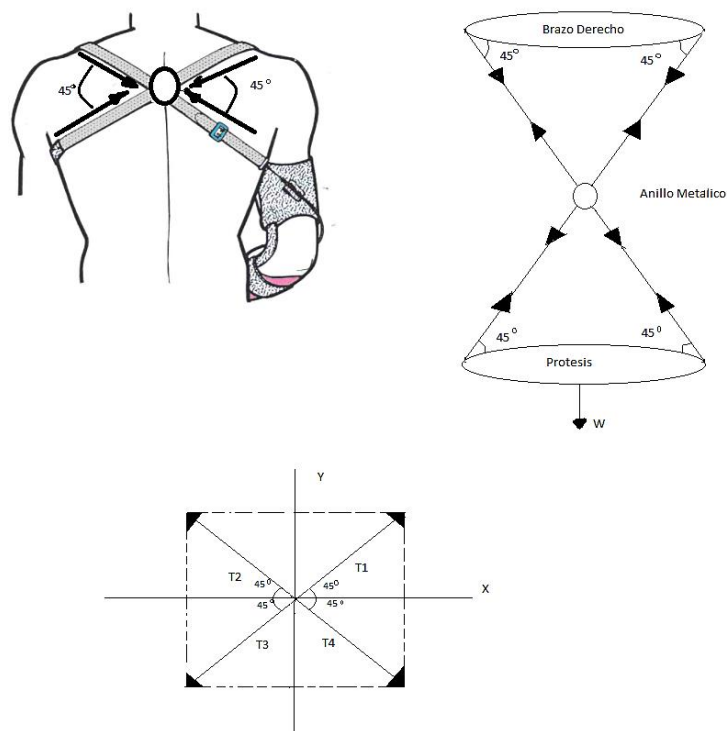
$$Fg = 3,71 \text{ lb} \quad (5)$$

Esta será la carga máxima que levantar en la mano.

## 4.2. Cargas a soportar por el arnés

Para esto se tendrá en cuenta los componentes de todo el Sistema. El peso del brazo, los servomotores, y los objetos que este manipulará. Para la construcción del arnés se utilizó cinta de mochila de 4 líneas que soporta pesos hasta de 15 kg. Antes de romperse. También está compuesto por un anillo metálico en el centro, el cual será el punto de apoyo de las Cintas. En el otro extreme se encuentra el sostén para el brazo derecho.

**Figura 4-0-1.** Cargas a soportar por el arnés.



Fuente: Autor.

**Peso del brazo:** 1148 gr.

**Peso de los servomotores:** 290 gr.

**Peso de levantamiento de la mano:** 1,68 kg.

**W total kg:** 3,118 kg.

$$W = 3,118 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (6)$$

$$W = 30,56 \text{ N} \quad (7)$$

$$T_3 = T_4 \quad (8)$$

$$T_3 = 15,28 \text{ N}$$

$$T_4 = 15,28 \text{ N}$$

### Equilibrio

$$\sum x = 0 \quad (9)$$

$$T_1 \cos 45^\circ + T_4 \cos 45^\circ - T_2 \cos 45^\circ - T_3 \cos 45^\circ = 0 \quad (10)$$

$$T_1 \cos 45^\circ + T_4 \cos 45^\circ = T_2 \cos 45^\circ + T_3 \cos 45^\circ \quad (11)$$

$$\cos 45^\circ (T_1 + T_4) = \cos 45^\circ (T_2 + T_3) \quad (12)$$

$$T_1 + T_4 = T_2 + T_3 \quad (13)$$

$$T_1 = T_2 \quad (14)$$

$$\sum Y = 0 \quad (15)$$

$$T_1 \sin 45^\circ + T_2 \sin 45^\circ - T_3 \sin 45^\circ - T_4 \sin 45^\circ = 0 \quad (16)$$

$$T_1 \sin 45^\circ + T_2 \sin 45^\circ = T_3 \sin 45^\circ + T_4 \sin 45^\circ \quad (17)$$

$$\sin 45^\circ (T_1 + T_2) = \sin 45^\circ (T_3 + T_4) \quad (18)$$

$$T_1 + T_2 = T_3 + T_4 \quad (19)$$

$$T_1 + T_2 = 30,56 \text{ N} \quad (20)$$

Sistema de ecuaciones.

$$(1) \quad T_1 = T_2$$

$$(2) \quad T_1 + T_2 = 30,56 \text{ N}$$

Reemplazando 1 en 2

$$T_1 + T_1 = 30,56 \text{ N} \quad (21)$$

$$2T_1 = 30,56 \text{ N} \quad (22)$$

$$T_1 = 15,28 \text{ N} = T_2 \quad (23)$$

Transformando N a Kg.

$$15,28 \text{ N} \frac{1 \text{ Kg}}{9,8 \text{ N}} = 1,26 \text{ kg} \quad (24)$$

El peso que soportara cada una de las cintas que forman el arnés es de 1,26 kg. El arnés al estar compuesto por cintas para mochila de 4 líneas puede soportar hasta 15 kg. Por cinta, es decir, el arnés puede sostener todo el peso de la prótesis y los objetos que manipulara la mano de esta sin ningún problema. De igual manera el apoyo en el brazo derecho será despreciable al encontrarse en equilibrio el sistema, teniendo un punto de apoyo que es el anillo metálico. El usuario de la prótesis no tendrá ninguna molestia en la axila al soportar el peso, ya que, de la misma manera tiene un sostén acolchado recubierto de franela que ayudara al usuario.

### **4.3. Diseño tridimensional de la prótesis.**

La prótesis tridimensional se desarrolló en los diferentes programas de la plataforma CAD. En este caso de manera más específica en los programas SolidWorks y FreeCad.

Para obtener los elementos diseñados en este programa se tomó en cuenta los siguientes cálculos:

#### ***4.3.1. Cálculos de grados de libertad***

Para reducir los grados de libertad se tomó en cuenta la estructura de la prótesis en su totalidad. Se toma en cuenta cada uno de los eslabones y las juntas.

- *Eslabones*: es un segmento rígido que posee por lo menos dos extremos en donde serán los puntos de unión con más eslabones
- *Juntas*: es la unión entre dos o más eslabones que permiten el movimiento de la estructura.

Para el cálculo de los grados de libertad se aplicará la siguiente formula de Grübler-Kutzbach:

$$M = 3(L - 1) - 2J1 - J2 \quad (25)$$

M= grados de libertad que se calculan

L= número de eslabones en el segmento

J1= número de junta d 1 grado de libertad (dos eslabones en conexión)

J2= número de juntas de dos grados de libertad (más de dos eslabones en conexión)

Para la aplicación de la formula se determina cada uno de los eslabones y juntas presentes en los diferentes segmentos de la prótesis. Estos datos se verán representados en la (Tabla 4-2)

**Tabla 4-2:** Número de eslabones y juntas

Segmento	Numero de eslabones y juntas		
	L	J1	J2
Meñique	3	3	0
Anular	3	3	0
Medio	3	3	0
Índice	3	3	0
Pulgar	2	2	0
Muñeca	1	1	0
Antebrazo	1	0	0
Brazo	0	0	0
Suma	16	15	0

Fuente: Autor

Reemplazando los datos en la formula se tiene:

$$M = 3(16 - 1) - 2(15) - 0 \quad (26)$$

$$M = 3(15) - 2(15) - 0 \quad (27)$$

$$M = 45 - 30 - 0 \quad (28)$$

$$M = 15 \text{ grados de libertad}$$

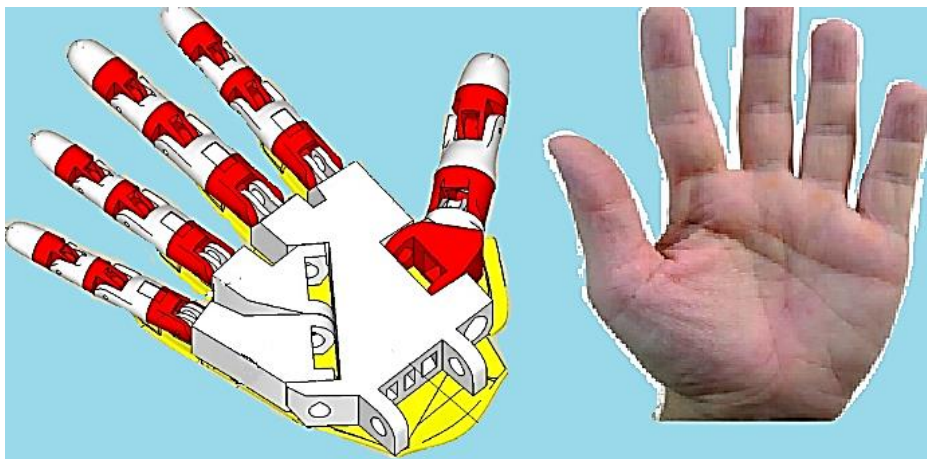


La prótesis está diseñada con 15 grados de libertad los cuales 14 están dentro de la mano y uno en la muñeca. Esto quiere decir que el brazo podrá cumplir con un gran número de actividades en un espacio de trabajo extenso.

#### 4.4. Comparación del diseño con una mano humana.

En la figura 32. Su puede observar la semejanza entre una mano humana y el diseño de la mano tridimensional en SolidWorks. (Figura 4-2)

**Figura 4-2** :Comparación mano humana y diseño de prótesis de la mano



Fuente: Autor

##### 4.4.1. Clasificación de la prótesis por partes

La prótesis se puede clasificar en cuatro partes principales, cada una de estas partes con sus respectivos segmentos que lo forman:

- Mano
- Muñeca
- Antebrazo
- Acople transhumeral

En la (Tabla 4-3), tenemos las partes principales de la prótesis con los respectivos segmentos que lo forman.

**Tabla 4-3:** Partes principales de la prótesis con sus respectivos segmentos.

<b>PARTES PRINCIPALES DE LA PROTESIS Y LOS SEGMENTOS QUE LA FORMAN</b>			
<b>Mano</b>	<b>Muñeca</b>	<b>Antebrazo</b>	<b>Acople Transhumeral 1</b>
Dedo Meñique	Base acople a palma	Placa inferior acople a muñeca 1	Placa lateral 1 acople transhumeral
Dedo Anular	Base Para Engranajes	Placa inferior acople a muñeca 2	
Dedo Medio		Placa superior 1	
Dedo Índice	Guía para cables	Placa Superior 2	
Dedo Pulgar	Acople a Antebrazo	Tapa superior antebrazo	Placa lateral 2 acople transhumeral
Palma	Engranaje para rotación de la mano	Cama servomotores	
Acoples de Dedo anular y meñique		Guía Frontal de Cables	
Cubierta de la mano	Engranaje interior servomotor	Guía posterior de cables	
Cubierta de dedos		Poleas para servomotores	

Fuente: Autor.

#### 4.4.2. Mano

Esta va a ser la parte encargada de la manipulación de objetos, por ser la parte encargada de la manipulación es la más importante, ya que, para todo ser humano es la forma de explorar y acercarse al mundo. Para diseñar la mano como ya se mencionó vamos a tomar en cuenta principalmente los dos tipos de agarre que son los de fuerza y los de precisión. Para el diseño de la mano se obtuvieron los siguientes datos en la (Tabla 4-4) se exponen los datos de las medidas reales y los datos de medidas diseñadas.

**Tabla 4-4:** Datos de medidas de la mano real y diseñada.

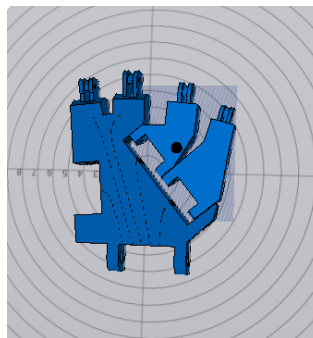
DATOS PARA DISEÑO DE LA MANO		
Datos	P95%(cm) máximo	Longitud de diseño(cm)
Longitud de la mano. (cm)	19,52	19,50
Diámetro de agarre interior. (cm)	6,62	7,00

Fuente: Autor

Para formar la mano tenemos partes o segmentos dentro de la misma, estas partes son:

4.4.3. **Palma.**-Esta parte está compuesta de tres piezas principales. Una grande que es fija donde acoplan el dedo pulgar, el dedo índice y el dedo medio; en la parte inferior posee dos agujeros para el acople de la muñeca y dos piezas más pequeñas móviles en donde se acoplaran el dedo anular y meñique.

**Figura 4-3:Palma de la mano**



Fuente: Autor.

#### 4.4.4. Dedos

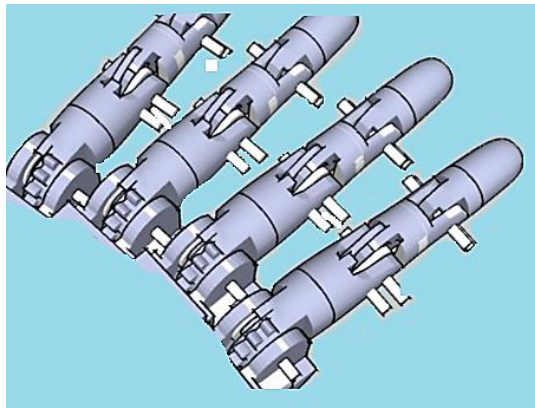
Para el diseño de los dedos se tomaron los cálculos realizados con el percentil del 95%. Para mejorar y tener un diseño más exacto se redondearon algunas medidas. A continuación, en la (Tabla 4-5). Se observan las medidas calculadas y las medidas diseñadas.

**Tabla 4-5:** Medidas de diseño de los dedos.

<b>Dedo</b>	<b>Segmento Óseo</b>	<b>P95%(cm) máximo</b>	<b>Medidas diseño (cm)</b>
<b>Meñique</b>	Falangeta	2,04	2,0
	Falangina	1,94	1,9
	Falange	4,02	4,0
<b>Anular</b>	Falangeta	2,36	2,4
	Falangina	2,32	2,3
	Falange	4,97	5,0
<b>Medio</b>	Falangeta	2,62	2,6
	Falangina	2,55	2,5
	Falange	5,53	5,5
<b>Índice</b>	Falangeta	2,55	2,5
	Falangina	2,61	2,6
	Falange	4,52	4,5
<b>Pulgar</b>	Falangeta	2,87	2,9
	Falangina	4,53	4,5

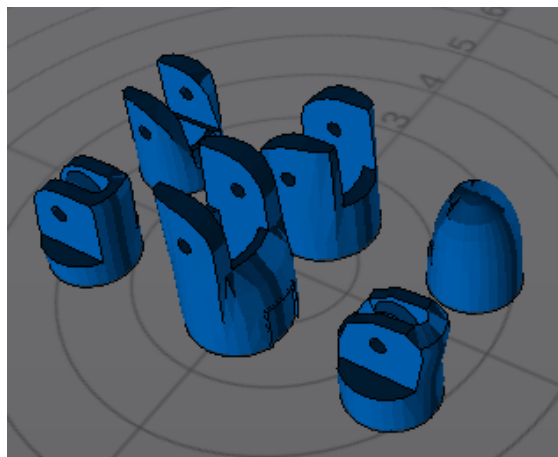
Cada dedo está compuesto de seis piezas, que unidas forman segmentos similares a la falangeta, falangina y falange. De igual manera tienen sus respectivas juntas que permiten el movimiento de cada dedo. (Figura 4-3) y (Figura 4-4)

**Figura 4-4:** Dedos diseñados con sus juntas de movimiento.



Fuente: Autor.

**Figura 4-5:** Diseño para impresión dedos.



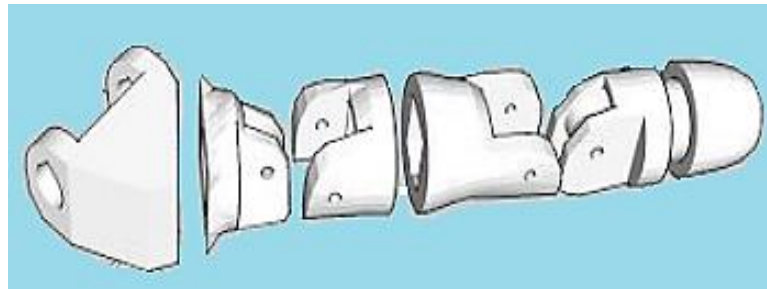
Fuente: Autor.

Cada uno de los cuatro dedos está orientado hacia el mismo plano, tienen tres grados de libertad que permiten los movimientos de flexión y extensión.

#### **4.4.5. *Dedo pulgar***

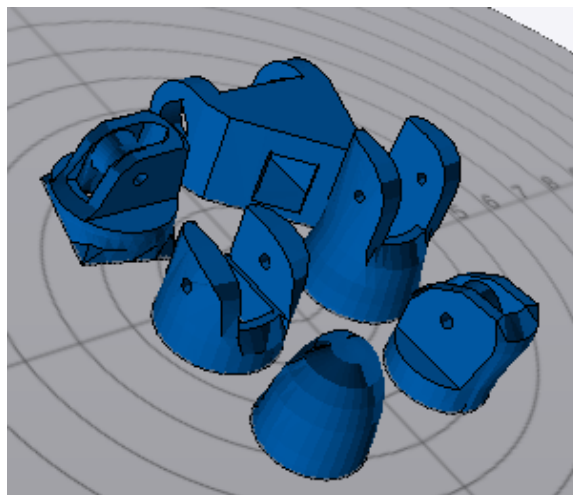
El dedo pulgar tiene un estudio especial, debido a que en el caso de este diseño tiene dos grados de libertad y este dedo tiene un acople propio para la palma de la mano, cabe recalcar, que este dedo cumple un trabajo indispensable en los agarres, sobre todo en los agarres de precisión. (Figura 4-5) y (Figura 4-6)

**Figura 4-6:** Dedo Pulgar diseñado.



Fuente: Autor.

**Figura 4-7 :**Diseño para impresión dedo pulgar.



Fuente: autor.

#### **4.4.6. Muñeca**

Es la parte en donde se acoplan la mano con el antebrazo, esta muñeca tiene un grado de libertad para realizar dos movimientos el de pronación y el de supinación.

Movimiento de pronación: cuando nuestra mano gira con eje en la muñeca y la palma queda con su cara hacia abajo.

Movimiento de supinación: cuando nuestra mano gira con eje en la muñeca y la palma queda con su cara hacia arriba. Esta tiene un giro de  $0^{\circ}$  a  $95^{\circ}$ .

La muñeca está formada por cinco piezas principales. La primera pieza tiene agujeros para acoplarse a la palma de la mano y es móvil cuando su engranaje se moviliza; dos piezas grandes en donde se montan todos los mecanismos y se acoplan la primera pieza móvil y el antebrazo en el otro extremo; luego dos engranajes que sirven para la rotación de la muñeca, un engranaje conectado a la parte superior y otra al servomotor.

**Figura 4-8.** Diseño de la muñeca



Fuente: Autor.

#### **4.4.7. Antebrazo**

Esta parte está compuesta de ocho piezas: dos tapas inferiores, dos tapas superiores, una cama de servo motores, dos guías para cables una frontal, una posterior y finalmente por una tapa superior que cierra el antebrazo.

Esta acoplada a la muñeca en la parte inferior y en la parte superior se ensambla al acople transhumeral.

Dentro del antebrazo están los cinco servomotores que ayudan al movimiento de los dedos. Cabe recalcar que aquí también se diseñan las poleas para los servomotores, pero no se toman en cuenta como piezas que lo forman porque estas poleas sirven para el movimiento de los dedos de la mano. (Figura 4-8)

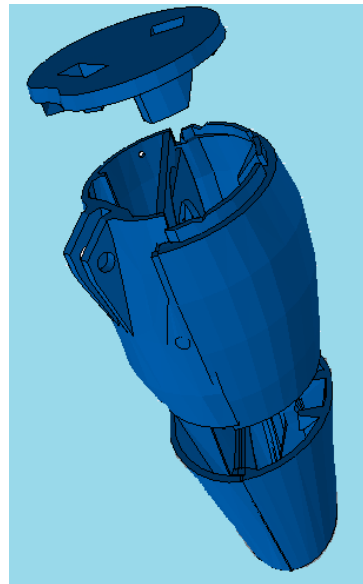
En la (Tabla 4-6) se observa los datos de medidas reales y los datos de medidas del diseño final. (Figura 4-9)

**Tabla 4-6:** Datos de medidas reales y diseñadas del antebrazo.

<b>DATOS PARA DISEÑO DEL ANTEBRAZO</b>		
<b>Datos</b>	<b>P95%(cm) máximo</b>	<b>Longitud de diseño(cm)</b>
<b>Alcance mínimo del brazo sin agarre. (cm)</b>	49,82	50,00
<b>Alcance máximo del brazo. (cm)</b>	75,51	76,00
<b>Longitud del antebrazo (cm)</b>	34,65	35,00

Fuente: Autor.

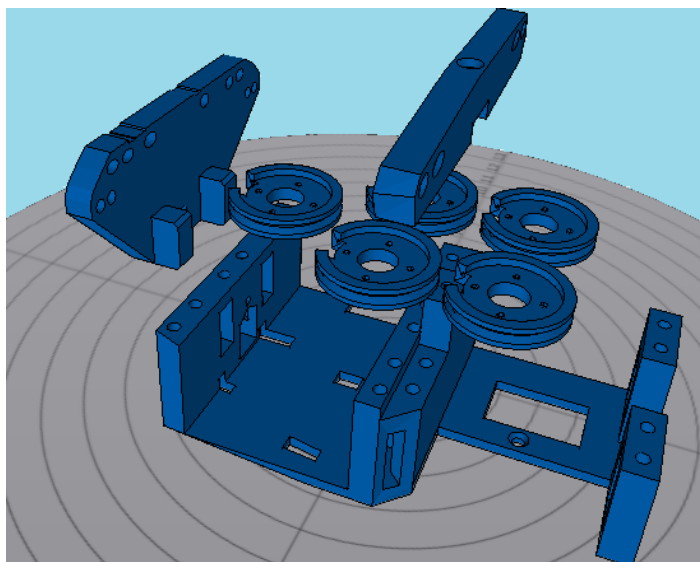
**Figura 4-9:** Diseño del antebrazo.



Fuente: Autor.



**Figura 4-10:** Cama de servos motores, guías para cables y poleas.



Fuente: Autor.

#### 4.4.8. Acople Transhumeral

Se compone por dos piezas grandes que estarán en los costados del humero, estas dos piezas estarán ensambladas al antebrazo y se asegurarán al cuerpo por medio de un arnés.

En la (Tabla 4-7) se muestran los datos que fueron necesarios para el diseño de estas piezas.

**Tabla 4-7:** Datos reales y de diseño para el acople transhumeral.

<b>DATOS PARA DISEÑO DEL ACOPLER TRANSUMERAL.</b>		
<b>Datos</b>	<b>P95%(cm) máximo</b>	<b>Longitud de diseño(cm)</b>
<b>Alcance máximo del brazo. (cm)</b>	75,51	76,00

Fuente: Autor.

#### 4.5. Selección de material

Para la selección de material se utiliza calificación de 1 a 5, siendo 5 la más alta y 1 la más baja. En la tabla 15 se realiza la ponderación de estas calificaciones para decidir cuál es el material que conviene utilizar más en la impresión de las piezas.

Los parámetros a calificar serán:

- Disponibilidad
- Costo
- Impacto ambiental
- Resistencia
- Temperatura de fusión

Cabe recalcar que los materiales a calificar serán los filamentos de ABS y PLA, estos dos filamentos son los que están disponibles en el mercado nacional.

Para la ponderación se tomará en cuenta la siguiente calificación descrita en la (Tabla 4-8).

(Tabla 4-9). Calificaciones para la ponderación

**Tabla 4-8:** Calificaciones para la ponderación

<b>CALIFICACIONES PARA PONDERACION</b>	
<b>Interpretación</b>	<b>Calificación</b>
Muy malo	1
Malo	2
Regular	3
Bueno	4
Muy bueno	5

Fuente: Autor

**Tabla 4-9:** Ponderación de calificaciones para selección del material.

<b>SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA IMPRESIÓN</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>ABS</b>	<b>PLA</b>
<b>Disponibilidad</b>	5	5
<b>Costo</b>	4	5
<b>Impacto ambiental</b>	1	5
<b>Resistencia</b>	5	3
<b>Temperatura de fusión</b>	3	5
<b>Total</b>	18	23

Fuente Autor.

Con la ponderación de materiales se toma la decisión de que el material que se usará para las impresiones será el filamento PLA.

El filamento PLA presenta una disminución en precio y sobre todo es un material biodegradable, debido a que se deriva de combustibles vegetales. Esto es muy importante para la prótesis, porque no desprende gases nocivos en el momento de la impresión y sobre todo estará en contacto con la piel humana.

Para compensar la falta de resistencia del PLA se modificarán los parámetros de impresión para formar paredes más gruesas.

Las propiedades del PLA se presentan en la (Tabla 4-10).

**Tabla 4-10: Propiedades del PLA**

<b>PROPIEDADES DEL PLA</b>	
<b>Propiedad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Punto de fusión</b>	180-210
<b>Densidad [g/cm³]</b>	1,50 -1,64
<b>Diámetro mm</b>	1,75
<b>Peso carrete kg</b>	1

Fuente: Autor.

### 4.5.1. Impresión

La impresión se hace por medio de una impresora 3D, esta impresora posee un extrusor que se encarga de fundir el material y así ir formando piezas sobre una cama caliente. La impresora que se utiliza en la impresión es SeeMee CNC Rostock Max V3 , en la (Tabla 4-11) se muestran las especificaciones de esta impresora. (Figura 4-10)

**Figura 4-0-11:** Impresora SeeMee CNC Rostock Max V3.



Fuente: <https://www.seemecnc.com/products/rostock-max-v3-desktop-3d-printer-diy-kit>

**Tabla 4-11: Especificaciones impresora SeeMee CNC Rostock Max V3**

<b>ESPECIFICACIONES DE LA IMPRESORA</b>	
<b>Característica</b>	<b>Cantidad</b>
Área de Impresión	265mm vertical x 400mm horizontal
Ancho máximo de capa recomendado	0.7 cm
Voltaje requerido	110V - 220V
Máxima Temperatura de la cama	100
Máxima temperatura de extrusor	280
Velocidad máxima de impresión	100 mm/s
velocidad máxima de extrusor	300mm/s
Diámetro de la boquilla de extrusor	0,5 mm
Diámetro de filamento máximo	1,75 mm
Software Compatible	Windows [7+], Ubuntu [11.10+], Mac OS X [10.6+]
Lenguaje	Código g
Software de la impresora	ROSTOCK MAX™

Fuente: Autor

#### **4.5.2. Configuración de la impresora.**

Para la impresión de las piezas, se tiene que configurar la impresora por medio del programa Matter Control, el cual permite seleccionar diferentes características dentro de la impresión que tendrás una incidencia en el resultado final. Esta incidencia principalmente será en el tiempo que se demore la impresión de la pieza, el costo por la cantidad de material a utilizar, el grosor y resistencia de las piezas.

Cabe recalcar que algunas piezas grandes y pequeñas tendrán diferente configuración, debido a que unas piezas necesitan ser más resistentes y otras necesitan ser más flexibles.

Entre las características de esta configuración se encuentran:

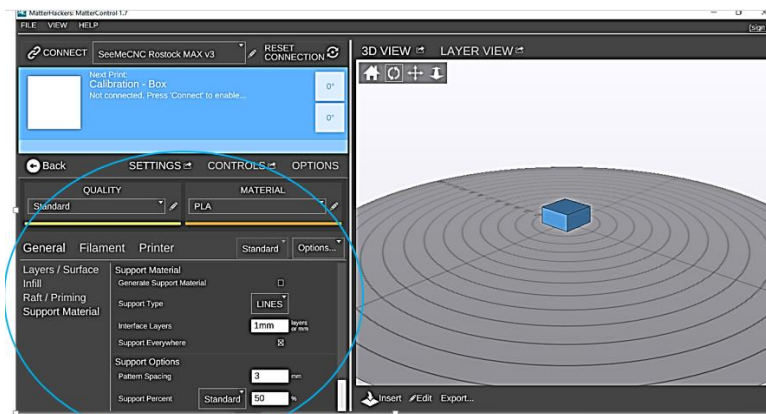
- Precio: el precio varía según la pieza a imprimirse, la cantidad de filamento que se utiliza en cada pieza varía según su tamaño.

- Tiempo: el tiempo de cada pieza es relativo a su tamaño, es decir, a mayor tamaño mayor tiempo de impresión.
- Peso: cada pieza impresa tiene su propio peso, esto es relativo a su textura y su tamaño.

## General

- Infill (relleno): esta característica hace referencia a la textura de la pieza. Al relleno que se encuentra dentro de las paredes de la pieza, se recomienda un relleno de 30% para que la pieza tenga una flexibilidad y resistencia aceptables.
- Layers/surface (capas/ superficie): está relacionada al grosor de las capas para formar la pieza. Con capas más finas el acabado en la superficie ser más fino, tendrá un aspecto más suave y una superficie menos áspera. Mientras que con capas más gruesas el acabo ser más grueso y resistente, pero su superficie será más áspera.
- Raft / priming (base de impresión): es la base que sirve para que la pieza este adherida a la cama caliente y tengamos una mejor impresión.
- Support material (material de soporte): se utiliza para piezas voladizas, es decir, que la mayor parte de esta pieza no está sobre la cama caliente de la impresora. (Figura 4-11)

**Figura 4-0-12:** Interfaz del programa con mostrando su configuración general.

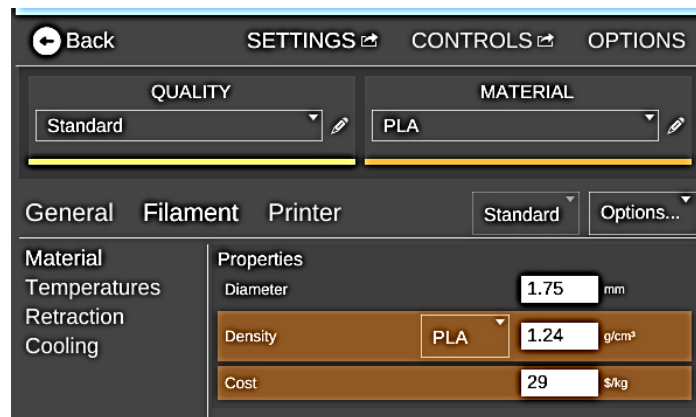


Fuente: Autor.

Filamento

Material: las propiedades del material que se va a utilizar el diámetro, la densidad y el costo. (Figura 4-12)

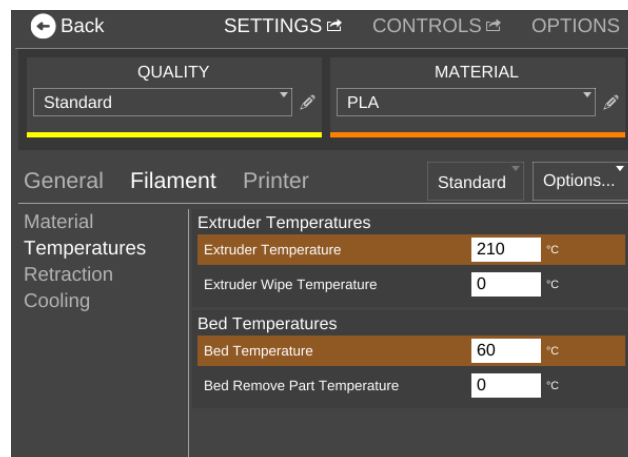
**Figura 4-0-13: Propiedades del material.**



Fuente: Autor.

Temperaturas (temperatura): son las temperaturas de la cama caliente y el extrusor. (Figura 4-13)

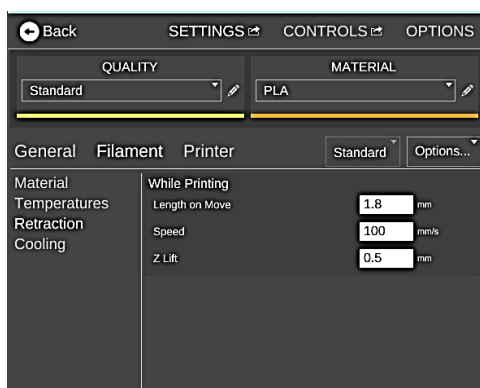
**Figura 4-0-14: Configuración de la temperatura de la impresora.**



Fuente: Autor.

Retraction (retracción): aquí está la configuración principalmente de velocidades y movimientos. (Figura 4-14)

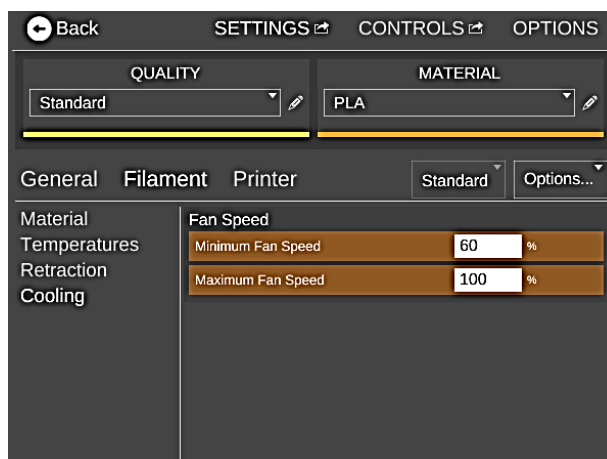
**Figura 4-0-15:** velocidades y movimientos de impresión.



Fuente: Autor.

Cooling (enfriamiento): es la configuración de velocidad de enfriamiento. (Figura 4-15)

**Figura 4-0-16.** Velocidad de enfriamiento.



Fuente: Autor.

Cabe recalcar que esta configuración de filamento será constante en toda la impresión, debido a que el material con el que se trabaja no cambia en ningún momento, siempre será PLA.

Printer: por último, tenemos la configuración de la impresora que son propias de la misma. (Tabla 4-12)

En las siguientes tablas se mostrarán cada una de las características de impresión general por cada segmento descrito.

(Tabla.4-13). Características generales de impresión de la mano. (Tabla 4-14)



**Tabla 4-12:** Características generales de impresión

<b>Características de Impresión de la Mano</b>						
<b>Parte</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Infill % relleno</b>	<b>Layers superficie (mm)</b>	<b>Raft (base)</b>	<b>Support (soporte)</b>
<b>Dedo Meñique</b>	13	1	20	0,2		
<b>Dedo Anular</b>	12	1:30	30	0,3		
<b>Dedo Medio</b>	15	2	30	0,3		
<b>Dedo Índice</b>	19	1:45	30	0,3		
<b>Dedo Pulgar</b>	25	3	30	0,3		
<b>Palma</b>	79	8	20	0,2		
<b>Acoples de Dedo anular y meñique</b>	40	5:30	20	0,2		
<b>Cubierta de la mano</b>	45	2:25	20	0,2		
<b>Cubierta de dedos</b>	15	1:30	20	0,2		x

Fuente: Autor.

**Tabla 4-13:** Características de impresión de la muñeca

<b>CARACTERISTICAS DE IMPRESIÓN DE LA MUÑECA</b>						
<b>Partes</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Infill % relleno</b>	<b>Layers Superficie (mm)</b>	<b>Raft base</b>	<b>Support soporte</b>
<b>Base acople a palma</b>	47	2:30	30	0,2		
<b>Engranaje para rotación de la mano</b>	15	1:30	30	0,2		
<b>Engranaje interior servomotor</b>	25	0:45	30	0,2		
<b>Guía para cables</b>	10	0:45	30	0,2		
<b>Acople a Antebrazo</b>	70	4	30	0,2		
<b>Acople Engranajes</b>	65	3:45	30	0,2		

Fuente: Autor.

**Tabla 4-14:** Características de impresión del antebrazo

<b>CARACTERISTICAS DE IMPRESIÓN DEL ANTEBRAZO</b>						
<b>Partes</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Infill % relleno</b>	<b>Layers Superficie (mm)</b>	<b>Raft base</b>	<b>Support soporte</b>
<b>Placa inferior acople a muñeca 1</b>	60	6:30	30	0,3	x	
<b>Placa inferior acople a muñeca 2</b>	70	7	30	0,3	x	
<b>Placa superior 1</b>	85	8	30	0,3	x	
<b>Placa Superior 2</b>	90	8:30	30	0,3	x	
<b>Tapa superior antebrazo</b>	40	4	30	0,3		
<b>Cama servomotores</b>	65	7:45	30	0,3		
<b>Guía Frontal de Cables</b>	38	3	30	0,3		
<b>Guía posterior de cables</b>	25	2:45	30	0,3		
<b>Poleas para servomotores</b>	15	1:45	30	0,3		

Fuente: Autor.

**Tabla 4-15:** Tabla de características de impresión Acople Transhumeral

<b>CARACTERISTICAS DE IMPRESIÓN DEL ACOPLE TRANSHUMERAL</b>						
<b>Partes</b>	<b>Peso(gr)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Infill % relleno</b>	<b>Layers Superficie (mm)</b>	<b>Raft base</b>	<b>Support soporte</b>
Placa lateral 1 acople transhumeral	80	7:30	30	0,2		
Placa lateral 2 acople transhumeral	85	8	30	0,2		

Fuente: Autor.

El peso total del brazo es de 1148 gr. Con un tiempo de impresión de 104:35 horas. Con jornadas de trabajo de aproximadamente 6 horas. Esto quiere decir que la impresión tarde aproximadamente 18 días.

## CAPITULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN DE LA PROTESIS

En este capítulo se describen los pasos para la construcción de la prótesis, tanto en la selección de componentes, la fijación de piezas y los distintos procedimientos que se siguieron para el funcionamiento de esta.

#### 5.1. Ponderación y toma de decisión para el uso de componentes electrónicos.

Para la ponderación se utiliza el mismo sistema de calificación que se utilizó en el caso de la selección del material. Esta calificación está expuesta en la tabla 15.

#### 5.2. Selección de servomotores

Para el movimiento de la prótesis se utilizarán servomotores. Son de gran utilidad debido a que son pequeños motores de corriente continua, con un gran torque y sobre todo que giran en dos sentidos.

Este sentido de doble giro será muy útil para el movimiento de los dedos y la muñeca, ya que, en el caso de los dedos realizara los movimientos de flexión y extensión; y en el caso de la muñeca realizaran los movimientos de pronación y sublimación.

En la prótesis tendremos seis servomotores; cinco en los dedos y una para el movimiento de la muñeca.

##### 5.2.1. Selección de servomotores para los dedos

Para esta decisión se toman en cuenta los aspectos de velocidad de giro, torque, precio, dimensiones, peso.

Cabe recalcar que el peso mínimo es el dedo meñique con 12 gr de peso y el máximo el dedo pulgar con 25 gr de peso. A esto se debe agregar la fuerza del cable que funciona

como tendón para proveer el movimiento al dedo que al ser ajustado aproximadamente es de 3 kgf /cm.

En el mercado tenemos varias opciones de servomotores las que hemos considerado son las siguientes: (Tabla 5-1)

- Hi-tec HS-485BB
- Hi-tec HS -645 MG
- KING MOTOR KM 1500
- Futaba S 3003

**Tabla 5-1:** Tabla de ponderación de resultados

<b>PONDERACION PARA TOMA DE DECISION DEL USO DE SERVOMOTORES PARA DEDOS</b>						
<b>Servo Motor</b>	<b>Costo</b>	<b>Torque</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
Hi-tec HS-485BB	3	5	4	5	2	19
Hi-tec HS -645 MG	2	4	3	4	3	16
KING MOTOR KM 1500	5	4	5	4	5	23
Futaba S 3003	5	2	5	2	5	19

Fuente: Autor.

Según muestra la tabla de ponderación el servomotor que se ajusta más a la necesidad de movimientos de los dedos en la prótesis será el servomotor KING MOTOR KM 1500.

Las especificaciones de dicho servomotor se ven representadas en la (tabla 5-2). Es bueno recordar que para los dedos se utilizaran cinco de estos servomotores. (Figura 5-1)

**Tabla 5-2:** Especificaciones Servo Motor KING MOTOR KM 1500.

<b>Especificaciones Servo motor KING MOTOR KM 1500</b>	
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Voltaje necesario	6V
Velocidad de operación	0,18 seg
Torque	15 kg. cm
Rotación	180 <sup>0</sup>
Dimensiones	40 x 20 x38 mm
Peso	50 gr
Engranajes	Metálicos
Adicional	Resistente al Agua
Temperatura de trabajo	0 <sup>0</sup> C hasta 110 <sup>0</sup> C

Fuente: Autor.

**Figura 5-1.** Engranajes metálicos del servo motor.



Fuente: <http://www.kingmotorrc.com/electrical/15kg-throttle/brake-servo/>

### **5.2.2. Selección de servomotores.**

La muñeca cumplirá con dos movimientos que son: de pronación y supinación. Por ello necesitamos un servo motor de giro de 180 grados. Cabe recalcar que en esta ocasión este servomotor soportara todo el peso de la mano y el propio de la muñeca que nos da un total de

495 gr. Además del peso de objetos que soportara que es de 3,71lb en kg 1,68 kg.

En este caso no existe la necesidad en cables para el movimiento por lo que se omite esa fuerza. Dando como resultado que será suficiente un servomotor de menor torque que el anterior, pero con una velocidad de respuesta mayor.

Para esta ocasión se toman en cuenta los siguientes servomotores:

- Hi-Tec HS-311
- Tower Pro SG-5010
- Hi-Tec HS- 425 BB
- LEWAN SOUL LS 20-MG

Los valores de ponderación de estos servomotores se muestran en la (tabla 5-3).

**Tabla 5-3:**Tabla de ponderación para selección de servomotor para movimientos de muñeca

<b>PONDERACION PARA TOMA DE DECISION DEL USO DE SERVOMOTORES PARA DEDOS</b>						
<b>Servo Motor</b>	<b>Costo</b>	<b>Torque</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
<b>Hi-Tec HS-311</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>16</b>
<b>Hi-Tec HS- 425 BB</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>18</b>
<b>TOWER PRO SG-5010</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>20</b>
<b>LEWAN SOUL LS 20-MG</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>17</b>

Fuente : Autor

<b>PONDERACION PARA TOMA DE DECISION DEL USO DE SERVOMOTORES PARA DEDOS</b>			
<b>Servo Motor</b>	<b>Costo</b>	<b>Torque</b>	<b>Dimensiones</b>

Hi-Tec HS-311	3	4	3
Hi-Tec HS- 425 BB	3	5	4
TOWER PRO SG-5010	5	3	5
LEWAN SOUL LS 20-MG	4	3	4

Fuente: Autor.

El análisis de ponderación nos deja que el servo motor indicado para la utilización en el movimiento de la muñeca es el servo motor TOWER PRO SG-5010.

A continuación, en la (tabla 5-4) se muestran las especificaciones del servomotor a utilizarse. (Figura 5-2)

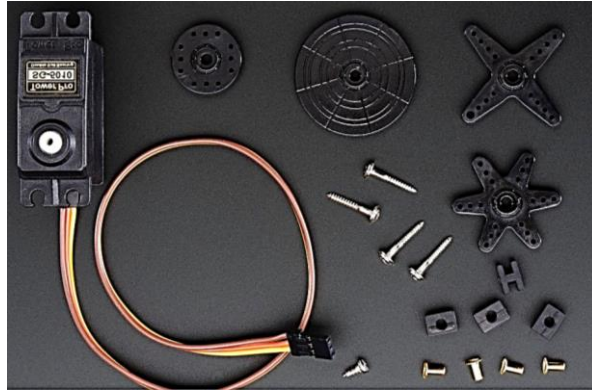
**Tabla 5-4:** Especificaciones del servomotor TOWER PRO SG-5010

<b>Especificaciones Servo motor TOWER PRO SG-5010</b>	
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Voltaje necesario	4.8V – 6V DC max
Velocidad de operación	0.2sec/ (4.8V), 0.16sec/( 6V)
Torque	con 5V, 5.5kg-cm ,y con 6V ,6.5kg-cm
Rotación	180
Dimensiones	40 x 20.0 x 38 mm
Peso	40gr
Engranajes	Carbonita
Temperatura de trabajo	10 hasta 50

Fuente: Autor.

**Figura 5-2:** Servo motor TOWER PRO SG-5010.





Fuente: <https://www.adafruit.com/product/155>

### 5.2.3. Selección de arduino para programación

Para la selección de arduinos tomaremos el mismo concepto de ponderación. En el mercado existen varias placas de arduinos disponibles. La prótesis utilizara una fuente de voltaje de 6V, por lo que se tomara en cuenta este dato para la ponderación. Se tomarán en cuenta también la velocidad del procesador, el costo, el tamaño del arduino y el número de salidas tanto digitales como análogas que son con las que funcionaran los sensores.

En el caso de esta selección se toman en cuenta cuatro placas de arduinos más disponibles en el mercado.

- Arduino MEGA 2560
- Arduino Leonardo
- Arduino Uno
- Arduino Nano V3

En la (tabla 5-5) se muestran las calificaciones para la ponderación.

**Tabla 5-5:** Tabla de ponderación para la selección de arduinos

PONDERACION PARA SELECCIÓN DE PLACA ARDUINO							
Placas Arduino	Tamaño	Velocidad	Costo	Procesador	Numero de salidas	Voltaje	Total
Arduino MEGA 2560	4	5	5	5	4	5	28

Arduino Leonardo	5	5	3	4	3	5	25
Arduino Uno	3	3	4	3	2	3	18
Arduino Nano V3	2	4	3	2	1	1	13

Fuente: Autor.

Con los datos de ponderación se toma finalmente la decisión de utilizar la placa arduino Leonardo.

Esta placa de arduino está desarrollada para proyectos más complejos como en este caso la prótesis, este micro controlador está basado en el Atmega32U4. (Figura 5-3)

Esta placa arduino es recomendable por su fácil acceso desde la PC por puerto USB sin necesidad de otra tarjeta de memoria. Además, para la programación por medio del software libre Arduino IDE (Integrated Development Environment).

Cuenta con 20 salidas de señal digital, de las cuales 7 pueden ser usadas como señales de salida PWM (Pulse-width modulación, genera señales análogas) y 12 de señal análoga.

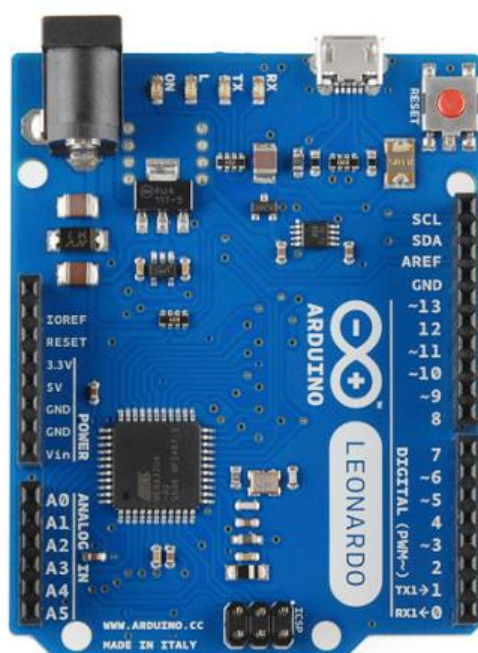
Las especificaciones técnicas se muestran en la (tabla 5-6).

**Tabla 5-6:** Especificaciones técnicas arduino Leonardo

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS PLACA ARDUINO LEONARDO</b>	
<b>ESPECIFICACION</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Micro controlador	Atmega32u4
Voltaje de operación	5V
Voltaje de Entrada (recomendado)	7-12V
Canales PWM	7
Pines de salida Digital I/O	20
Pines de Salida Análoga	12
Corriente para pines I/O	40 mA
Corriente para pines de 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB usados para el gestor de arranque
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Velocidad de reloj	16 MHz
Longitud	68,6 mm
Anchura	53.3 mm
Peso	20g

Fuente: Autor.

**Figura 5-3:** Placa Arduino LEONARDO.



Fuente: <http://arduino.cl/arduino-leonardo/>

### 5.3. Selección de sensor muscular

Para esto se seleccionó el sensor sensor muscular MyoWare, un sensor de electromiografía (EMG) todo en uno con alimentación Arduino de Advancer Technologies (AAT). La placa MyoWare actúa midiendo la actividad eléctrica filtrada y rectificadas de un músculo; emitiendo voltios dependiendo de la cantidad de actividad en el músculo seleccionado. Es esta actividad eléctrica del musculo la que envía una señal

análoga hacia la placa arduino que a su vez hará actuar al servomotor que controle el sensor. (Figura 5-4)

Funciona con 3.3V hasta 5.8V, posee luces de indicación Led, su peso aproximadamente es de 5 gr.

**Figura 5-4:** Sensor muscular MyoWare.



Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/13723>

#### **5.4. Selección de componentes mecánicos**

Para el correcto funcionamiento de la prótesis se utilizaron distintos componentes mecánicos que se encuentran cumpliendo funciones de fijación y movimiento.

En este caso hemos dividido estos componentes mecánicos en:

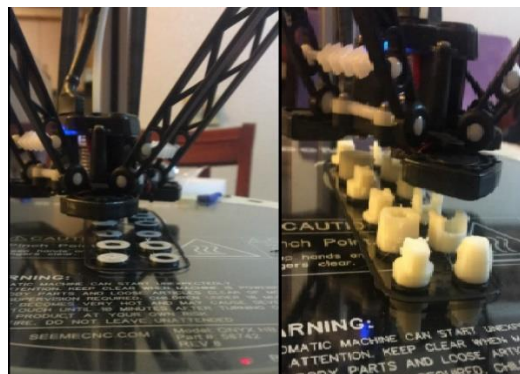
- Tornillos de fijación: las piezas se fijaron con estos tornillos y con pegamento. Estos tornillos ayudan a soportar mayores fuerzas sobre la prótesis, los tornillos de fijación que usamos pueden ser desmontables en caso de alguna avería y se necesiten revisar los componentes de la prótesis.

- Cables: se utilizó cable de caña de pescar de 9mm. Este cable posee características excelentes para la prótesis, puesto que tiene una gran resistencia, pero es muy flexible, esto es útil para ajustar los cables en forma de tendones y con ese ajuste lograr la tensión correcta para el funcionamiento y movimientos adecuados de cada uno de los dedos
- Poleas: las poleas se encuentran adheridas a los servomotores de los dedos. Estas poleas sirven de guías para los cables y soportan el movimiento del servomotor que a su vez mueven los cables de los dedos.
- Engranajes: los engranajes se encuentran dentro de la muñeca; permiten los dos movimientos de la muñeca, ya que, transmiten el movimiento del servo motor que se encuentra en este segmento de la prótesis. Estas ruedas dentadas fueron diseñadas para que tengas una gran resistencia porque están expuestas a un trabajo de movimiento continuo. Además de soportar el peso de la mano y los objetos que manipula la misma.

### 5.5. Construcción de la prótesis

Después del diseño de cada una de las piezas en la plataforma de CAD, el siguiente paso es compilar el archivo en formato STL (Standard Triangle Language), seguimos al programa matter control para las especificaciones de impresión y compilamos el programa en código G para que pueda ser compatible con la impresora 3D, a continuación, vamos a imprimir las piezas en los segmentos en que han sido diseñadas. (Figura 5-5)

**Figura 5-5:** Impresión de piezas en impresora SeeMee CNC Rostock Max V3.



Fuente: Autor.

Después de tener las piezas impresas empezamos con la unión de estas de acuerdo a lo diseñado.

Después de la impresión de cada pieza lo primero que vamos a hacer es lijar cada una de las piezas, para que tengan un mejor aspecto y estén menos ásperas. (Figura 5-6)

**Figura 5-6:** Piezas siendo lijadas.



Fuente: Autor.

## **5.6. Unión de piezas**

Empezamos con la identificación para unión de piezas que formaran los dedos, para ello nuestra primera pieza será la que cumplirá con la función de unirse a la muñeca. (Figura 5-7) y (Figura 5-8)

**Figura 5-7:** Piezas que forman un dedo



Fuente: Autor.

**Figura 5-8:** Unión de la base del dedo a la palma

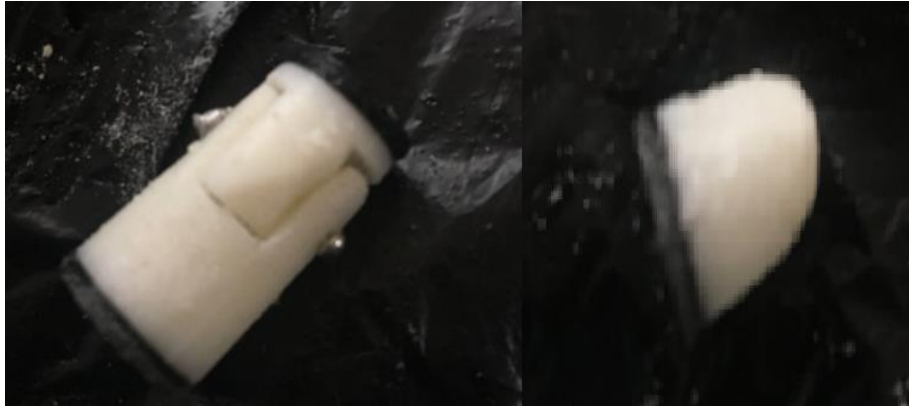


Fuente: Autor.

Después se procede a unir las piezas restantes con la finalidad de formar lo que serían la falange, falangina y falangeta, esta última que será la punta de los dedos. (Figura 5-9)

**Figura 5-9:** Segmentos que forman los dedos.





Fuente: Autor.

Se corta diez pedazos de cable de caña de pescar de 1m cada una, estos cables simularan los tendones y proporcionaran el movimiento de la mano.

Para esto utilizamos caña de pescar de 4mm.

Empezamos a pasar los cables a través de los agujeros de los dedos empezando desde la parte superior del dedo. (Figura 5-10)

**Figura 5-10:** Cable a través de la parte superior del dedo.



Fuente: Autor.

Esto hacemos a través de todos los segmentos del dedo y de la muñeca que ya se encuentra ensamblada con la parte inferior del dedo. (Figura 5-11)

**Figura 5-11:** Ensamble y paso de cables por la mano.



Fuente: Autor.

Una vez con la mano completa se adhiere los recubrimientos de la mano y los dedos. Los cuales ayudan al correcto movimiento de la mano. (Figura 5-12)

**Figura 5-12:**Recubrimiento de la mano y dedos.

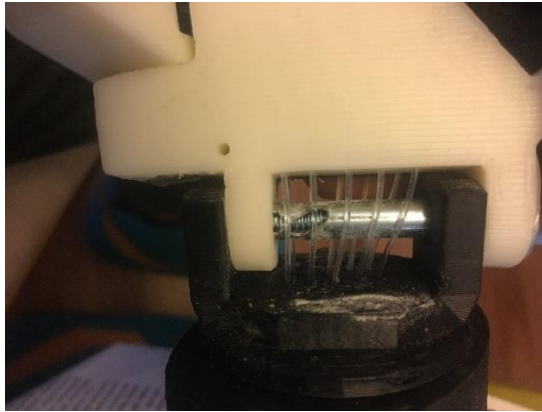


Fuente: Autor.

## 5.7. Unión de las piezas de la muñeca

La primera pieza tendrá que ir unida a la mano, en el medio de esta pieza tenemos un engranaje agujerado que será por donde pasen los cables que permiten el movimiento de la mano. (Figura 5-13)

**Figura 5-13:**Acople de mano y muñeca.



Fuente: Autor.

Después se coloca el servomotor con su respectivo engranaje que dará el movimiento a la muñeca. Este servomotor estará apoyado en la parte inferior de la muñeca. (Figura 5-14)

**Figura 5-14:**Montaje de servomotor en muñeca.



Fuente: Autor.

Cabe recalcar que en el servomotor se coloca una guía para que pasen los cables que simulan ser tendones de movimiento para la mano. (Figura 5-15)

**Figura 5-15:**Guía para tendones.



Fuente: Autor.

## **5.8. Unión de las piezas del antebrazo**

Primero se unen las piezas grandes que sirven como base para montar lo que va a ser la base para montar los servomotores dentro del antebrazo y la otra la tapa del antebrazo. (Figura 5-16)

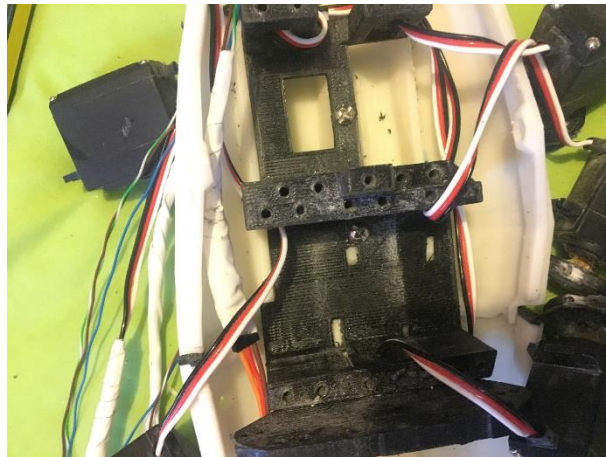
**Figura 5-16:**Unión tapas del antebrazo.



Fuente: Autor.

Con la tapa y la base unida se procede a montar lo que es la cama para servomotores. (Figura 5-17)

**Figura 5-17:**Montaje de cama para servomotores.



Fuente: Autor.

Se asegura el antebrazo a la parte inferior de la muñeca para poder calibrar los cables para el correcto movimiento de la mano.

Posterior a esto colocamos cada una de las poleas en los servomotores, para montarlos sobre la cama de servomotores. Una vez que estos están montados se procede al ajuste de los cables según se requiera con el movimiento de los dedos. Los cables se aseguran colocando una señal en el lugar donde el dedo cumplirá con su movimiento completo ya sea de extensión o flexión, se asegura el a las poleas con un nudo. (Figura 5-18)

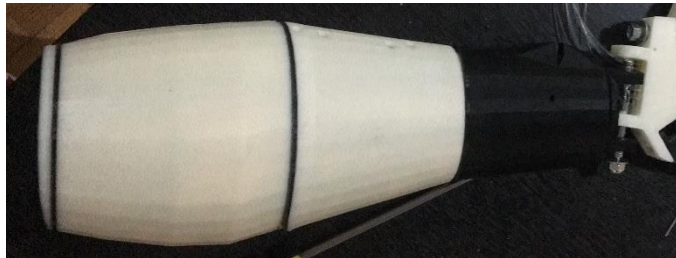
**Figura 5-18:** Montaje de servomotores y ajuste de cables.



Fuente: Autor.

Por último, se coloca la tapa del antebrazo. (Figura 5-19)

**Figura 5-19:**Antebrazo completo



Fuente: Autor.

### **5.9. Unión del acople Transhumeral**

El acople Transhumeral se compone de dos piezas que van a ser colocadas a los costados del antebrazo, estas serán aseguradas por medio de pernos y tuercas. Serán dos pernos para cada placa, estarán asegurados formando un ángulo de  $15^\circ$  con el antebrazo, que es la distancia inicial que medimos en la persona real. (Figura 5-20)

**Figura 5-20:**Unión del acople Transhumeral.





Fuente: Autor.

**Figura 5-21:** Prótesis totalmente ensamblada.



Fuente: Autor.

## CAPITULO VI

### 6. PROGRAMACIÓN, CONEXIÓN Y PRUEBAS

#### 6.1. Arduino.

Para la programación del arduino se utiliza el lenguaje de Processing, el cual es un lenguaje de desarrollo JAVA de código abierto. La placa arduino se programa por medio del programa con el mismo nombre, para operar el programa no se necesita de la compra de ninguna licencia. El software arduino sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital.

##### 6.1.1. Programación de los dedos

Para la programación de las partes de la prótesis se debe tener en cuenta la estructura del software arduino:

- 1ª parte `int x=0;` Declarar las variables.
- 2ª parte `void setup() {...}` Configuración de Arduino.
- 3ª parte `void loop() {...}` Comandos que regiran el comportamiento de Arduino.

##### 6.1.2. Programación Agarre de fuerza.

En el agarre de fuerza se involucra absolutamente todos los dedos de la mano, puesto que este tipo de agarre es para grandes objetos con un mayor peso y que necesita del apoyo sobre la palma de la mano y la flexión de sus dedos. (Figura 6-1)



**Figura 6-1:** Programación agarre de fuerza

```
sketch_dec12a Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_dec12a $
#include <Servo.h>
Servo dedoindice; // servo para dedo indice//
Servo dedomedio; // servo para dedo medio//
Servo dedoanular; // servo para dedo anular//
Servo dedopulgar; // servo para dedo pulgar//
Servo dedomenique; // servo para dedo menique//

const int threshValue = 250; // el valor que se asigna a la señal del sensor//

void setup ()
{
  dedoindice.attach(3); // indica que el pin en donde se conectara el dedo indice es el pin 3//
  dedomedio.attach(2); // indica que el pin en donde se conectara el dedo medio es el pin 2//
  dedoanular.attach(5); // indica que el pin en donde se conectara el dedo anular es el pin 5//
  dedopulgar.attach(6); // indica que el pin en donde se conectara el dedo pulgar es el pin 6//
  dedomenique.attach(7); // indica que el pin en donde se conectara el dedo menique es el pin 7//
}

void loop()
{
  int value = analogRead(A3);

  if ( value < threshValue) // si el valor es menor//
  {
    dedoindice.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo indice sera de extension//
    dedomedio.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo medio sera de extension//
    dedoanular.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo anular sera de extension//
    dedomenique.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo pulgar sera de extension//

    dedopulgar.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo menique sera de extension//
  }
  else // caso contrario si el valor es mayor a la señal//
  {
    dedoindice.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo indice sera de flexion//
    dedomedio.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo medio sera de flexion//
    dedoanular.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo anular sera de flexion//
    dedomenique.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo pulgar sera de flexion//
    dedopulgar.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo menique sera de flexion//
  }
}
```

Fuente: Autor.

Para empezar, se declara la existencia de servomotores en el literal # include, de esta manera identificaremos los cinco servomotores de cada dedo con el nombre respectivo. A continuación, se declara el valor base para la activación del sensor, este valor permitirá al arduino emitir la señal para que los servomotores funcionen.

En void setup se procede a declarar en que pin se conectara cada uno de los servomotores para el movimiento de los dedos.

En void loop se declara que el valor de señal del sensor estará en el pin A3, luego empezamos la programación con el comando if (si), en donde, se especifica que si el valor que emite el sensor es menor al valor propuesto anteriormente los dedos realizaran el movimiento de extensión, es decir, emitirá una señal falsa.

Aquí mismo declaramos con el comando else (caso contrario), que si la señal que emite el sensor es mayor al valor propuesto los dedos realicen el movimiento de flexión, es decir, la placa arduino lo codifica como una señal real de activación.

### 6.1.3. Programación para agarre de precisión.

Para la programación de los agarres de precisión se utilizó un segundo arduino en el que se programó nuevamente el movimiento necesario para este agarre. Se utilizó una nueva placa arduino debido a que los sensores detectan las mínimas señales en los pines análogos, lo que provocaba que exista una interferencia de señal y un mal funcionamiento.

En este caso el agarre de precisión mueve tres dedos y la muñeca. Como se especificó anteriormente este tipo de agarre se lo utiliza para objetos más pequeños y finos.

Figura 70. Programación Agarre de precisión. (Figura 6-2)

**Figura 6-2:** Programación de agarre de precisión



```
sketch_dec12a $
#include <Servo.h>
Servo dedoindice; // servo para dedo indice//
Servo dedomedio; // servo para dedo medio//
Servo muneca; // servo para dedo muneca//
Servo dedopulgar; // servo para dedo pulgar//

const int threshValue = 250; // el valor que se asigna a la señal del sensor//

void setup ()
{
  dedoindice.attach(3); // indica que el pin en donde se conectara el dedo indice es el pin 3//
  dedomedio.attach(2); // indica que el pin en donde se conectara el dedo medio es el pin 2//
  muneca.attach(5); // indica que el pin en donde se conectara el dedo muneca es el pin 5//
  dedopulgar.attach(6); // indica que el pin en donde se conectara el dedo pulgar es el pin 6//
}

void loop()
{
  int value = analogRead(A3);

  if ( value < threshValue) // si el valor es menor//
  {
    dedoindice.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo indice sera de extension//
    dedomedio.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo medio sera de extension//
    muneca.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento de la muneca sera de pronacion//
    dedopulgar.writeMicroseconds(800); // si el valor de señal es menor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo menique sera de extension//
  }

  else // caso contrario si el valor es mayor a la señal//
  {
    dedoindice.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo indice sera de flexion//
    dedomedio.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo medio sera de flexion//
    muneca.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento de la muneca sera de sublimacion//
    dedopulgar.writeMicroseconds(2250); // si el valor de señal es mayor al que se asigno al sensor el movimiento del dedo menique sera de flexion//
  }
}
```

Fuente: Autor.

De igual forma por medio del comando #include se declara la inclusión de servomotores en el sistema, se identifican los cuatro servomotores que serán activados en esta ocasión, de igual forma al ser activados por un sensor igual al anterior se le asigna el mismo valor base.

Después se encuentra el void setup en donde se declara como será la conexión de los pines de acuerdo a los servomotores.

Luego en el void loop contiene la programación que hará funcionar al sistema se declara por medio del comando int value el lugar en donde se encontrar el sensor que emitirá las señales para el funcionamiento de los servomotores, con el comando if (si) se indica la primera acción, quiere decir, que, si la señal emitida por el sensor es menor que el valor base asignado, los dedos no realizaran el agarre y la muñeca realizara el movimiento de pronación. El comando else (caso contrario), indica que, si el valor que emite el sensor es mayor al valor base asignado, la mano realizara el agarra de precisión y la muñeca realizara el movimiento de sublimación.

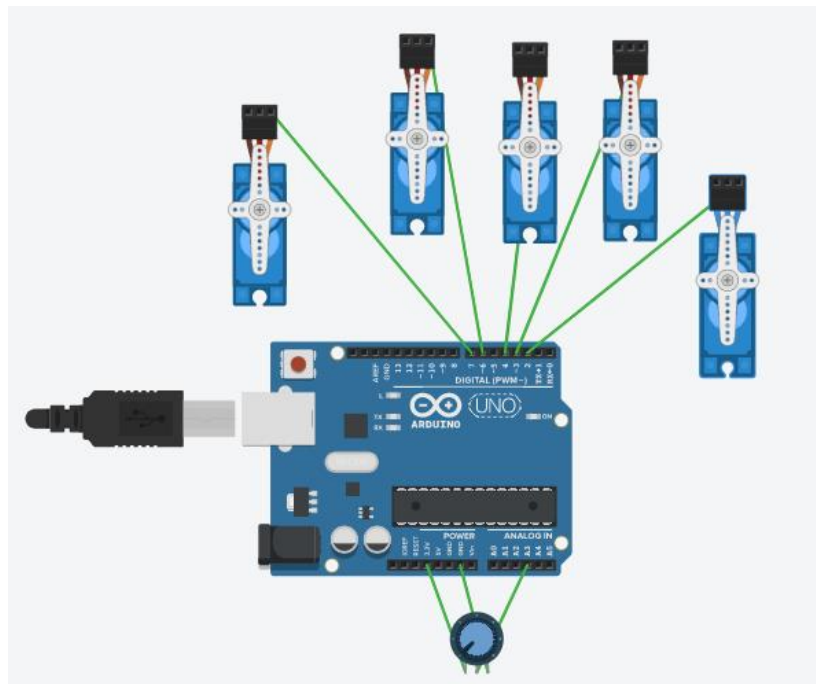
## **6.2. Conexiones**

### **6.2.1. Conexión para agarre de fuerza**

La conexión se hizo por medio de una placa perforada, en donde, se anclaron los pines correspondientes a la programación que se subió en la placa arduino, esta placa perforada se hizo por efecto de que la energización sea más eficiente.

En las conexiones para el agarre de fuerza se utilizaron los pines: 2, 3, 4, 6,7. Para los dedos respectivamente antes mencionados: Índice, medio, pulgar anular, meñique. Estos pines son de salida digital. La señal del sensor está en el pin A3 que es de señal análoga, además este sensor se energiza con 3,3V. (Figura 6-3)

**Figura 6-3:** Conexión del arduino con los servomotores

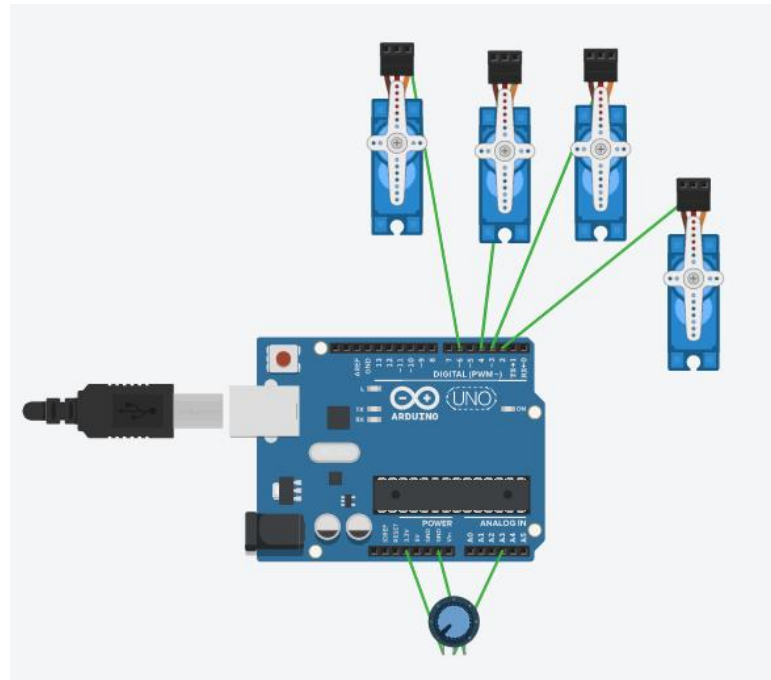


Fuente: Autor.

Para el agarre de precisión de igual forma se utilizó de igual forma un arduino y los respectivos pines.

En las conexiones para el agarre de precisión se utilizaron los pines: 2, 3, 4,6. Para los dedos pulgar, índice y medio, además, que este arduino es el que controla el movimiento del giro de muñeca. Estos pines son de salida digital. La señal del sensor está en el pin A3 que es de señal analógica, además este sensor se energiza con 3,3V. (Figura 6-4)

**Figura 6-4:** Conexión del arduino con los servomotores que controlan los dedos la muñeca y el sensor.



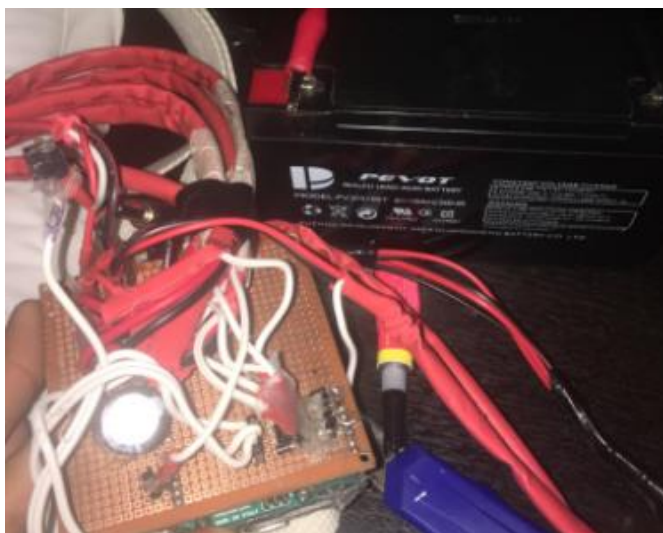
Fuente: Autor.

### 6.3. Energización.

La energización está dada por una batería de plomo ácido recargable, esta batería tiene 6V y 10 Ah. Es una batería de larga vida útil, tiene 20 horas de uso mínimo para que esta se descargue con terminales de cobre para la energización entre las principales características.

Para la energización del Sistema esta fue la fuente de energía. Pero además se realizó una tarjeta de energía, la cual está hecha con dos tarjetas perforadas para una doble señal, además contiene un condensador electrolítico de 50V y un condensador cerámico. Todo esto para la energización de arduinos y servomotores. Cabe recalcar que esta tarjeta también contiene diodos que los cuales cumplen con la función de no permitir que las señales de los sensores interfieran entre sí. (Figura 6-5)

**Figura 6-5:** Fuente de energía para el sistema



Fuente: Autor.

#### **6.4. Pruebas de la prótesis.**

##### **6.4.1. Prueba de sujeción del arnés**

El arnés se probó en tres personas, primero un trabajador con un promedio de 80 kg de peso, una mujer de 50 kg de peso y un hombre de 65 kg de peso. El arnés al ser ajustable se colocó de forma correcta en todas las personas, además, el arnés se hizo con un margen que pueda ser utilizado por una persona de hasta 100 kg. de peso, en este caso la altura no influye debido a que esta se conecta en forma transversal al cuerpo humano

##### **6.4.2. Prueba de sujeción del bolso**

El bolso al tener elementos ajustables cumplió de forma correcta en las pruebas con las personas ya mencionadas anteriormente, además cabe recalcar que esta bolsa se hizo para llevar los elementos de energización y algunos elementos de reemplazo en caso de que la batería necesite carga u otras necesidades que puedan presentarse.

### 6.4.3. Prueba de funcionamiento de la prótesis con agarre de fuerza

La prueba se hizo conectando los sensores a tres bíceps diferentes en tres personas diferentes:

Se realizaron diferentes pruebas y varios intentos, a continuación, se resumen la información recolectada en las pruebas. (Tabla 6-1)

**Tabla 6-1:** Pruebas de agarre con fuerza con un hombre de 80kg de peso

<b>PRIMERA PERSONA (HOMBRE)</b>			
<b>PESO</b>	80 kg		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	34 cm		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	5	10
CIERRE	5	5	10
AGARRE DE VASO VACIO	5	5	10
AGARRE DE VASO LLENO	5	5	10
AGGARRE DE BOTELLA VACIA	5	3	6
AGGARRE DE BOTELLA LLENA	5	3	6

Fuente: Autor.

Para este primer caso de estudio, se observa que las pruebas estuvieron sobre el 50 % de los aciertos por lo que los resultados son aceptables y en este caso, con un bíceps más robusto la prótesis funciona de manera correcta

En el Segundo caso de estudio las pruebas se realizan en una mujer con un bíceps de menor diámetro. (Tabla 6-2)

**Tabla 6-2:** Pruebas de agarre de fuerza con una mujer de 50 kg de peso

<b>SEGUNDA PERSONA(MUJER)</b>			
<b>PESO</b>	50 kg.		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	25 cm.		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	5	10
CIERRE	5	4	8
AGARRE DE VASO VACIO	5	5	10
AGARRE DE VASO LLENO	5	4	8
AGGARRE DE BOTELLA VACIA	5	4	8
AGGARRE DE BOTELLA LLENA	5	3	6

Fuente: Autor.

En este Segundo caso de estudio los aciertos estuvieron por arriba del 50 % con excepción del agarre de la botella llena, los resultados variaron con respecto al primer caso, se puede decir que el tamaño del bíceps no afecto de una ninguna manera. La prótesis es apta para ser usada en mujeres con un bíceps de menor diámetro.

Por ultimo las pruebas con el último hombre de 65 kg. de peso arrojó los siguientes resultados. (Tabla 6-3)



**Tabla 6-3:** Pruebas de agarre con una mujer de 50kg de peso

<b>TERCERA PERSONA(HOMBRE)</b>			
<b>PESO</b>	65 kg.		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	30 cm.		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	5	10
CIERRE	5	5	10
AGARRE DE VASO VACIO	5	4	8
AGARRE DE VASO LLENO	5	3	6
AGGARRE DE BOTELLA VACIA	5	4	8
AGGARRE DE BOTELLA LLENA	5	4	8

Fuente: Autor.

En este tercer caso se observa que los resultados fueron mejores en comparación que el segundo caso de estudio, se puede decir que el tamaño del bíceps sigue sin ninguna afectación al funcionamiento del prototipo.

#### ***6.4.4. Prueba de funcionamiento de la prótesis con agarre de precisión***

Para el estudio de este agarre se utilizó la misma población de estudio que en el caso de los agarres de fuerza.

(Tabla 6-4). Pruebas de agarres de precisión con un hombre de 80 kg. de peso.

**Tabla 6-4:** Pruebas de agarres de precisión con un hombre de 80kg de peso

<b>PRIMERA PERSONA (HOMBRE)</b>			
<b>PESO</b>	80 kg		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	34 cm		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	5	10
CIERRE	5	5	10
GIRO DE MUÑECA	5	5	10
AGARRE DE LAPIZ	5	4	8
AGGARRE DE PELOTA	5	2	4

Fuente: Autor.

De los primeros resultados se puede decir que estuvieron acertados en su gran mayoría, se refleja mayor complejidad en el agarre de elementos más pequeños.

Para el segundo caso se estudia una mujer con un peso de 50 kg. y un bíceps que mide 25 cm de diámetro. (Tabla 6-5)

**Tabla 6-5:** Pruebas de precisión de fuerza con una mujer de 50 kg de peso

<b>SEGUNDA PERSONA(MUJER)</b>			
<b>PESO</b>	50 kg.		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	25 cm.		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	5	10
CIERRE	5	4	8
GIRO DE MUÑECA	5	5	10
AGARRE DE LAPIZ	5	2	4
AGGARRE DE PELOTA	5	3	6

Fuente: Autor.

En este segundo caso la manipulación mejoro en cuanto a los objetos, pero en el cierre existió un intento fallido.

Para el último caso se realizaron las mismas pruebas que en los casos anteriores. (Tabla 6-)

**Tabla 6-6:** Pruebas de precisión de fuerza con un hombre de 65 kg de peso

<b>TERCERA PERSONA(HOMBRE)</b>			
<b>PESO</b>	65 kg.		
<b>MEDIDA DEL BICEPS</b>	30 cm.		
<b>Pruebas</b>	<b>INTENTOS</b>	<b>ACIERTOS</b>	<b>RESULTADO</b>
APERTURA	5	4	8
CIERRE	5	5	10
GIRO DE MUÑECA	5	4	8
AGARRE DE LAPIZ	5	2	4
AGGARRE DE PELOTA	5	3	6

Fuente: Autor.

En el tercer caso de igual forma los resultados fueron aceptables superando en todos los intentos el 90% de efectividad. (Figura 6-6) y (Figura 6-7)

**Figura 6-6:**Realización de pruebas.



Fuente: Autor.

**Figura 6-7:**Prótesis siendo probada.



Fuente: Autor.

## **6.5. Costos y financiamiento**

Este al ser un proyecto tecnológico tuvo un costo por los componentes electrónicos y mecánicos antes mencionados.

### **6.5.1. Costos directos.**

Estos costos son los que están relacionados directamente con la construcción y funcionamiento del prototipo. (Tabla 6-7)

**Tabla 6-7: Costos directos del proyecto**

<b>Costos Directos</b>			
<b>Cant.</b>	<b>Elemento</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio total</b>
2	Arduino Leonardo	80	160
5	Servomotores King Motor	40	200
1	Servomotor Tower Pro	25	25
4	Sensores Myoware	75	300
50	Electrodos para sensor	0,5	25
2	Placa perforada	4	8
1	Condensador Electrolítico	2	2
1	Condensador Químico	0,4	0,4
8	Diodos	0,3	2,4
4	Estaño(m)	1	4
8	Cable de audio (m)	4	32
8	Cable Flexible 22 (m)	1	8
1	Batería 6V,10Ah	40	40
3	Carretes de PLA	60	180
1	Arnés	50	50
1	Bolso	25	25
2	Gel Hipo alergénico	20	40
<b>Total</b>			<b>1101,8</b>

Fuente: Autor.

### 6.5.2. Costos indirectos

Se pueden visualizar en la (Tabla 6-8)

**Tabla 6-8: Costos indirectos del proyecto**

<b>Costos Indirectos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
Internet	30
Servicio Técnico impresora	80
Importación material	100
Equipos y herramientas	200
impresiones trabajo escrito	30
<b>Total</b>	<b>440</b>

Fuente: Autor.

**Tabla 6-9: Costo total del proyecto**

<b>Costo total del proyecto</b>	
Costos Directos	1101,8
Costos Indirectos	440
<b>Total</b>	<b>1541,8</b>

Fuente: Autor.

## **CONCLUSIONES**

Para la determinación de las medidas y movimientos de la prótesis, se realizó el estudio antropométrico y de grados de libertad, además, se tomó en cuenta el estudio de las medidas de una población real. Con este estudio conseguimos la máxima similitud del prototipo con un brazo real. Para la toma de medidas se utilizaron diferentes herramientas de medidas de precisión.

La prótesis fue impresa con tecnología 3D, su diseño y cálculos necesarios fueron realizados en la plataforma SolidWorks, la prótesis está hecha completamente de PLA, que al ser un material biodegradable no representa ningún riesgo contaminante al contacto con la piel. La prótesis fue realizada en diferentes piezas que se ensamblaron dando forma a la misma. Los movimientos están promovidos por servomotores ubicados en el antebrazo. Además de esto se realizó un arnés para sostener y fijar la prótesis al usuario y una bolsa con doble agarre para sostener los elementos de energización.

La programación del sistema está hecha por medio de arduinos, el sistema utiliza dos arduinos con una programación para los agarres de fuerzas y los agarres de precisión de la prótesis.

Las conexiones se realizaron con cable de audio negro y rojo para identificar positivo y negativo en los elementos, además, se utilizó también cable flexible No. 22 para que las señales sean exactas.

Las pruebas arrojaron resultados positivos, siempre por encima del 50% de efectividad, por lo que, la prótesis esta apta para su uso. Las pruebas realizadas en cuanto a los agarres de fuerza y precisión dieron a conocer que el diámetro del bíceps no afecta en el funcionamiento del sensor y del prototipo.

## **RECOMENDACIONES**

Siempre ajustar de forma correcta el arnés para que la prótesis quede fijada de forma correcta al usuario y este pueda realizar diferentes actividades sin ningún problema.

Mantener bien cargada la batería para que no exista ningún fallo en el sistema. Nunca sobrepasar los 6V en el momento de conectar los arduinos, para no ocasionar ningún daño en los elementos.

Mantener una buena lubricación en los elementos móviles del sistema, esta lubricación se recomienda hacerla a través de aceite blanco para que no sufra desperfectos la prótesis.

Mantener siempre los elementos electrónicos y mecánicos en revisión.

La prótesis no es sumergible, por lo tanto, se recomienda siempre trabajos en lugares secos lejos del agua y mantenerla fuera del alcance de esta.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**BENITEZ, Luis.** *Engranajes: diseño, lubricación, análisis de fallas y mantenimiento.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2011. pp 13-15

**CHAO, Eme.** Biomechanics of the Hand. *World Scientific.* 1989. pp. 31-97.

**COOPER, Carl.** *Fundamental of Hand Therapy.* Mosby. 2007. pp. 4-35.

**Estrella, Edison.** *Diseño y construcción de un robot para la manipulación de explosivos.* 2014. pp 33-35

**FLORES, Jose, CASTILLO, Paul. & DORADOR, Manuel.** Actualidad y tendencias en el diseño de prótesis de miembro superior. *Memorias del X Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica.* 2014. pp 28-31

**FU, Ko., GONZALEZ, Ricardo. & LEE, Chung.** *Control, detección, visión e inteligencia.* Mexico: McGraw-Hill. 1989. pp 18-20

**GONZÁLEZ VIEJO, Miguel.; etp. al..** *Amputación de extremidad inferior y discapacidad: prótesis y rehabilitación.* Barcelona: Masson. 2005. pp 93-94

**LAJARA VIZCAÏNO, Jose. & SEBASTIÀ, Juan.** *LabVIEW Entorno gráfico de programación.* Barcelona: Alfaomega. 2007. pp 73-75

**MONDELO, Pedro.,** Ergonomía 1 fundamentos. En: *Ergonomía.* Catalunya: Nuevo Mundo. 1984. pp. 7.

**MONDELO, Pedro, TORADA, Ganriel & BUSQUETS, Juan.** *Diseño de puestos y espacios de trabajo.* Mexico, D.F. 2000: Ediciones UPC, SL. pp 5-12.

**PAJARES MARTINSANZ, Guillermo.** *Imágenes digitales Procesamiento práctico con Java.* Madrid: RA-MA. 2000. pp 16-17.

**VINING- RADOMSKY, Michelle. & LATHAM, Catherin.** *Occupational Therapy or Physical dysfunction.* Birmingham: Lippincott Williams y Wilkins. 2008 pp 46.

**VITALI, ROBINSON, ANDREWS & HARRIS.** *Amputaciones y Prótesis.* Madrid: JIMS. 2010. pp 103-104.

**GARCÍA, M., SÁNCHEZ, A. & CAMACHO, A.** Análisis de métodos de valoración postural en las herramientas de simulación virtual para la ingeniería de fabricación. En: *Ergonomía.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2013. pp 18-21 [ Consulta: 2018-01-24] . Disponible en: <http://www.investigacion.unal.edu.co/index.php/proyectos>