



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRONICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: INVESTIGACIÓN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MODELO DE MANO ROBÓTICA TIPO GRIPPER ACCIONADA POR  
INTERRUPTORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA.**

**AUTOR: ESCOBAR ESPIN, LEONIDAS GABRIEL**

**DIRECTOR: ING. MANJARRÉS ARIAS, FÉLIX JAVIER. M.Sc.**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MANO ROBÓTICA TIPO GRIPPER ACCIONADA POR INTERRUPTORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA”** fue realizado por el señor: ESCOBAR ESPIN, LEONIDAS GABRIEL el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 05 de septiembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Felix Manjarrés Arias', written over a horizontal line.

Ing. Manjarrés Arias, Félix Javier. M.Sc.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo ESCOBAR ESPIN, LEONIDAS GABRIEL, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MANO ROBÓTICA TIPO GRIPPER ACCIONADA POR INTERRUPTORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 05 de septiembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leonidas G. Escobar Espin', written over a horizontal line.

Escobar Espin, Leonidas Gabriel  
C.C.:1803989027



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Yo ESCOBAR ESPIN, LEONIDAS GABRIEL autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MANO ROBÓTICA TIPO GRIPPER ACCIONADA POR INTERRUPTORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad

Latacunga, 05 de septiembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leonidas G. Escobar Espin', written over a horizontal line.

Escobar Espin, Leonidas Gabriel

C.C.:1803989027

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mis padres Danilo Escobar y María Espín quienes me apoyaron en toda la carrera además a mis hermanos Erika, Johan, Danilo y abuelitos, quienes comparto día con día, este trabajo va además en ayuda a personas que tienen discapacidad física y que no pueden acceder a prótesis de alto valor.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por la vida y la fortaleza personal para no desistir ante dificultades a mis padres quienes con su ejemplo y experiencias ayudaron a la realización de este proyecto además a mis hermanos tíos y abuelitos paternos que aportaron con ideas, al Ingeniero Doctor Marcos Gutiérrez por la iniciativa de ayuda a personas con discapacidad, al Ing. Félix Manjarrez, por colaborar con la creación de la tesis aportando con sapiencia, sabiduría y experiencia en el campo de la ingeniería.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>xviii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTO TEÓRICO Y GENERALIDADES

1.1	Justificación e importancia.....	1
1.2	Antecedentes .....	2
1.3	Planteamiento del problema.....	2
1.4	Estructura y miología de la mano .....	3
1.4.1	Composición ósea de la mano.....	4
1.4.2	Movimientos principales de la mano. ....	5
1.5	Estado del arte prótesis de mano.....	5
1.5.1	Tipos de prótesis de manos generalizadas .....	6
1.5.2	Tipo de prótesis con alto grado de tecnología a nivel mundial.....	9
1.5.3	Proyectos basados en necesidades de personas con discapacidad física. ....	11
1.6	Gripper desde el punto de vista de la robótica.....	13
1.6.1	Gripper tipo mordaza paralelo. ....	14
1.6.2	Gripper tipo tres dedos (Stanford) .....	14
1.6.3	Gripper tipo garra.....	15
1.6.4	Gripper comercial .....	15
1.6.5	Gripper tipo cremallera o tornillo central .....	16
1.7	Muñeca para el movimiento transversal. ....	16
1.7.1	Muñeca robótica.....	16
1.8	Materiales para prótesis de mano robóticas. ....	17
1.9	Elementos para el diseño de estructura y recubrimiento .....	17
1.9.1	Filamento de impresión 3d (PLA y ABS).....	17
1.9.2	Fibra de vidrio.....	18
1.9.3	Pcb (printed circuit board) para tarjeta electrónica.....	19
1.9.4	Materiales metálicos .....	19

1.10	Procedimientos de la investigación.....	20
------	---	----

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

2.1	Criterios ponderados para utilización del dispositivo .....	22
2.1.1	Selección de la prótesis de según el estado del arte .....	27
2.1.2	Despliegue de la función de calidad QFD, .....	29
2.2	Funciones. ....	30
2.3	Diagrama de funciones.....	31
2.3.1	Principales.....	31
2.3.2	Ocasionales .....	32
2.3.3	Accidentales .....	32
2.4	División modular. ....	33
2.4.1	Modulo mecánico.....	34
2.4.2	Módulo eléctrico y electrónico .....	36
2.4.3	Módulo de control.....	36
2.5	Matriz morfológica .....	37
2.5.1	Matriz de ponderaciones para el módulo mecánico.....	37
2.5.2	Matriz de ponderaciones para el módulo eléctrico electrónico.....	38
2.5.3	Matriz de ponderaciones para el módulo de la tarjeta de control. ....	39
2.6	Soluciones en el diseño del Gripper.....	39
2.6.1	Accionamiento mecánico del Gripper.....	39
2.6.2	Esfuerzos .....	69
2.6.3	Selección de otros elementos .....	74
2.6.4	Resultado final del Gripper .....	74
2.7	Soluciones en el diseño de la muñeca movimiento transversal .....	75
2.7.1	Accionamiento mecánico de la muñeca análisis geométrico.....	75
2.7.2	Diseño del tornillo sin fin. ....	77
2.7.3	Relación de transmisión de los engrane.....	78
2.7.4	Esfuerzos .....	79
2.8	Selección de materiales y dispositivos electrónicos. ....	81
2.8.1	Puente H.....	81
2.8.2	Sensor de fuerza .....	82
2.8.3	Micro pulsadores.....	85
2.8.4	Tarjetas de control.....	86
2.8.5	Baterías .....	87
2.8.6	Actuadores eléctricos .....	88
2.9	Consumo eléctrico de los elementos seleccionados.....	89
2.10	Dispositivo de control .....	90
2.10.1	Tarjeta electrónica.....	90
2.10.2	Arduino .....	91

2.11	Diseño eléctrico, electrónico para el sistema de control y potencia .....	92
2.11.1	Diagrama de flujo .....	92
2.11.2	Funcionamiento de la prótesis panorama general .....	93
2.11.3	Parámetros de diseño para el PCB .....	94
2.11.4	Diseño de las etapas del circuito .....	95

### **CAPÍTULO III**

#### **ENSAMBLE, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS**

3.1	Proceso de construcción.....	98
3.2	Construcción implementación mecánica y electrónica de la mano robótica. .98	
3.2.1	Construcción mecánica .....	98
3.2.2	Proceso de fabricación 3D .....	100
3.2.3	Construcción y ensamblaje electrónico.....	102
3.3	Ensamblaje final de la mano robótica y validación del diseño. ....	103
3.4	Validación de la hipótesis .....	104
3.5	Análisis de costos y resultados .....	107
3.5.1	Material mecánico.....	107
3.5.2	Material eléctrico y electrónico.....	107
3.5.3	Mano de obra .....	108
3.5.4	Costo total .....	109
3.5.5	Resultados .....	109

### **CAPÍTULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1	Conclusiones.....	113
4.2	Recomendaciones. ....	114

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>116</b>
--	------------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>122</b>
--------------------	------------

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>ABS a 25°C propiedades físicas</i> .....	18
Tabla 2 <i>Valores próximos del módulo de Young</i> .....	19
Tabla 3 <i>Características puntuales del acero AISI 1018</i> .....	20
Tabla 4 <i>Ponderación de criterios con respecto a las soluciones establecidas</i> .....	20
Tabla 5 <i>Asignación de los valores para comparación</i> .....	22
Tabla 6 <i>Criterios para la validación de las alternativas de diseño</i> .....	23
Tabla 7 <i>Peso específico para cada criterio</i> .....	23
Tabla 8 <i>Valoración cada criterio</i> .....	23
Tabla 9 <i>Alternativas en categorías</i> .....	24
Tabla 10 <i>Comparativa según el peso del dispositivo</i> .....	24
Tabla 11 <i>Comparativa según la fuerza de apriete</i> .....	25
Tabla 12 <i>Comparativa según el criterio de mantenimiento</i> .....	25
Tabla 13 <i>Comparativa según criterio de precio</i> .....	25
Tabla 14 <i>Comparativa según la universalidad</i> .....	26
Tabla 15 <i>Tabla de conclusiones para la selección del tipo de Gripper</i> .....	26
Tabla 16 <i>Solución final</i> .....	26
Tabla 17 <i>Asignación de elementos a las diferentes alternativas de diseño</i> .....	27
Tabla 18 <i>Asignación de nombres a las diferentes alternativas</i> .....	28
Tabla 19 <i>Criterios de aporte a la solución final</i> .....	28
Tabla 20 <i>Ponderación de las alternativas con respecto a criterios</i> .....	28
Tabla 21 <i>Sumatoria para la selección de las 4 alternativas de solución final</i> .....	29
Tabla 22 <i>Ítems de modo de operatividad del dispositivo en condiciones normales</i> .....	31
Tabla 23 <i>Ítems de eventos ocasionales</i> .....	32

Tabla 24 <i>Eventos accidentales</i> .	32
Tabla 25 <i>Resultado de alternativas</i> .	34
Tabla 26 <i>Movimientos mecánicos del dispositivo.</i>	34
Tabla 27 <i>Características mecánicas que conformaran el dispositivo.</i>	35
Tabla 28 <i>Acciones que derivan en activación eléctrica o necesidad de la misma.</i>	36
Tabla 29 <i>Análisis eléctrico de dispositivos existentes.</i>	36
Tabla 30 <i>Acciones que el microcontrolador poseerá.</i>	37
Tabla 31 <i>Ponderación de criterios con respecto a las soluciones establecidas</i> .	38
Tabla 32 <i>Selección para la activación eléctrica del motor</i> .	38
Tabla 33 <i>Selección de la tarjeta de control</i> .	39
Tabla 34 <i>Valores que determinan la carga del tornillo.</i>	46
Tabla 35 <i>calculo para la velocidad de avance lineal.</i>	49
Tabla 36 <i>Determinación de la aceleración del tornillo de potencia</i> .	50
Tabla 37 <i>Datos del tornillo sin fin</i> .	78
Tabla 38 <i>Lógica de funcionamiento del dispositivo y la acción que tomara el controlador</i> .	82
Tabla 39 <i>Características del sensor de fuerza.</i>	83
Tabla 40 <i>Curvas características de cada segmento.</i>	85
Tabla 41 <i>Breve análisis de tarjetas electrónicas consideradas.</i>	87
Tabla 42 <i>Criterios de selección de la batería.</i>	88
Tabla 43 <i>Resumen y conclusión de la selección de la batería.</i>	88
Tabla 44 <i>Características técnicas.</i>	89
Tabla 45 <i>Descripción del micro servo seleccionado por su tamaño y torque.</i>	89
Tabla 46 <i>Consumo constante del circuito.</i>	89
Tabla 47 <i>Consumo del circuito requerido para la selección de la batería.</i>	90

Tabla 48 <i>Selección del tipo de arduino.</i> .....	91
Tabla 49 <i>Peso del programa en el arduino.</i> .....	93
Tabla 50 <i>Ancho de pista.</i> .....	95
Tabla 51 <i>Validación del diseño en función del resultado físico.</i> .....	104
Tabla 52 <i>Materiales usados en el diseño y en la fabricación de la mano.</i> .....	105
Tabla 53 <i>Materiales usados en el diseño y en la fabricación de la muñeca.</i> .....	105
Tabla 54 <i>Costo en materiales mecánicos.</i> .....	107
Tabla 55 <i>Costo en elementos electrónicos pasivos</i> .....	107
Tabla 56 <i>Costo en elementos electrónicos activos</i> .....	108
Tabla 57 <i>Costo en elementos electrónicos</i> .....	108
Tabla 58 <i>Costo en el diseño intangible.</i> .....	108
Tabla 59 <i>Costo en elementos electrónicos.</i> .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Analogía del uso de las prótesis.....	3
<i>Figura 2</i> Partes del miembro superior .....	3
<i>Figura 3</i> Huesos de la mano humana (vista dorsal). .....	4
<i>Figura 4</i> Prótesis cosméticas o estéticas.....	6
<i>Figura 5</i> Prótesis mecánica sujeta por la espalda .....	7
<i>Figura 6</i> Prótesis Mioeléctrica y sus partes.....	8
<i>Figura 7</i> Prótesis neumática .....	8
<i>Figura 8</i> Prótesis híbrida .....	9
<i>Figura 9</i> Prótesis I-limb a) Primeras prótesis b) Últimas prótesis mioeléctricas.....	9
<i>Figura 10.</i> Prótesis de mano Michael Angelo.....	10
<i>Figura 11.</i> Gripper tipo mordaza con agarre de tipo fricción y retención.....	14
<i>Figura 12.</i> Gripper tipo garra. ....	15
<i>Figura 13.</i> Gripper comercial. ....	15
<i>Figura 14.</i> Gripper con tornillo central. ....	16
<i>Figura 15.</i> Movimiento “Wrist Flex”.....	16
<i>Figura 16.</i> Bobinas para impresión 3D.. ....	17
<i>Figura 17.</i> Casa de la calidad (anexo) .....	30
<i>Figura 18.</i> Función principal de nivel 0. ....	31
<i>Figura 19.</i> División en subfunciones (sujeción y manipulación) Nivel 1. ....	32
<i>Figura 20.</i> Subfunciones que componen la sujeción del gripper nivel 2a.....	33
<i>Figura 21.</i> Subfunciones que componen la manipulación transversal del Gripper nivel 2b....	33
<i>Figura 22.</i> Ubicación de los puntos de sujeción en un elemento rígido.....	40
<i>Figura 23.</i> Ubicación del centro de masa y gravedad. ....	40

<b>Figura 24.</b> Eslabón con su analogía a los dedos.....	40
<b>Figura 25. a)</b> Forma de los dedos índice y medio, <b>b)</b> forma del dedo pulgar .....	41
<b>Figura 26</b> Distancia de los eslabones para los dedos índice y pulgar .....	41
<b>Figura 27.</b> Definición de términos que conforman un engrane.....	41
<b>Figura 28.</b> Descripción de la mano .....	42
<b>Figura 29.</b> Distancia entre centros distancia entre .centros (piñón-engrane conducido) .....	42
<b>Figura 30</b> Sugerencia y solución del boceto .....	43
<b>Figura 31</b> Simulación de los engranes acoplados .....	44
<b>Figura 32</b> Tornillos métricos .....	45
<b>Figura 33</b> Tornillos Acme .....	45
<b>Figura 34</b> Designación del ángulo entre el paso y el diámetro en una revolución.....	45
<b>Figura 35.</b> Tornillo sin fin. ....	46
<b>Figura 36.</b> Representación gráfica velocidad angular y lineal. ....	47
<b>Figura 37.</b> Velocidades de avance y retracción.....	48
<b>Figura 38.</b> Giro del tornillo y sentido de la velocidad.....	48
<b>Figura 39</b> Descripción sistema de tornillo de potencia engrane .....	48
<b>Figura 40.</b> Eslabones del circuito del Gripper.....	51
<b>Figura 41.</b> Base triangular para la construcción .....	51
<b>Figura 42.</b> Base de la mano gripper Diseño final de la estructura. ....	52
<b>Figura 43</b> Punto de referencia conocido.....	52
<b>Figura 44.</b> Líneas de referencia. ....	53
<b>Figura 45.</b> Dimensión mínima de $R_1$ . ....	54
<b>Figura 46.</b> Dimensión de $r_1$ .....	54
<b>Figura 47.</b> Resultado final. ....	54

<b>Figura 48.</b> Diagrama cinemático.....	55
<b>Figura 49.</b> Ángulos en función de la posición del eslabón 1. ....	57
<b>Figura 50.</b> Comportamiento de las velocidades angulares según la posición de r1.....	59
<b>Figura 51.</b> Diagrama de cierre de circuito.....	62
<b>Figura 52</b> Diagrama de cuerpo libre con las fuerzas que actúan en los eslabones.....	64
<b>Figura 53.</b> Diagramas de cuerpo libre .....	65
<b>Figura 54.</b> Diagrama de cuerpo libre con fuerzas que actúan en el eslabón. ....	66
<b>Figura 55.</b> Descripción de las partes de la mano.....	74
<b>Figura 56.</b> Apertura final de la mano .....	75
<b>Figura 57.</b> Distancia engrane muñeca hasta final del dedo.....	75
<b>Figura 58.</b> Palanca de conexión mano muñeca. ....	76
<b>Figura 59.</b> Tamaños de engranes de la muñeca.....	79
<b>Figura 60.</b> Estructura de la muñeca.....	81
<b>Figura 61.</b> Micromotor pololu Fuente: (Electronics, s.f.) .....	81
<b>Figura 62.</b> Esquema interno de un circuito L293D.....	82
<b>Figura 63.</b> Sensor de fuerza.....	82
<b>Figura 64.</b> Curva característica. ....	83
<b>Figura 65</b> Circuito acondicionado del sensor de fuerza.....	83
<b>Figura 66</b> Ubicación de la recta y la curva.....	84
<b>Figura 67</b> Ubicación del sensor en la prótesis.....	84
<b>Figura 68</b> Pulsadores .....	85
<b>Figura 69</b> Batería de lipo.....	87
<b>Figura 70</b> Baterías de carga directa .....	87
<b>Figura 71</b> Baterías recargables .....	88

<b>Figura 72</b> Lógica del funcionamiento. ....	90
<b>Figura 73</b> Diagrama pictórico de la tarjeta de control.....	90
<b>Figura 74</b> Diagrama de flujo general para el funcionamiento del gripper .....	92
<b>Figura 75</b> Descripción de la tarjeta de control seleccionado.....	93
<b>Figura 76</b> Simulación del circuito .....	94
<b>Figura 77.</b> Elementos de la baquelita.....	94
<b>Figura 78</b> Etapa de alimentación.....	95
<b>Figura 79</b> Etapa de entradas digitales y análogas.....	96
<b>Figura 80</b> Pcb .....	96
<b>Figura 81</b> Simulación de la etapa .....	96
<b>Figura 82</b> Diseño del circuito impreso .....	97
<b>Figura 83</b> Fabricación de las tarjetas de control y de potencia .....	97
<b>Figura 84.</b> Proceso general del diseño del dispositivo de prótesis.....	98
<b>Figura 85.</b> Pintura base para el masillado en las cubiertas.....	98
<b>Figura 86.</b> Preparación de la plancha de aluminio .....	99
<b>Figura 87.</b> Corte mediante plasma .....	99
<b>Figura 88.</b> Resultado del corte en una plancha de 5 mm de espesor.....	100
<b>Figura 89.</b> Algoritmo de una impresión en 3d. ....	100
<b>Figura 90.</b> Descripción de las temperaturas .....	101
<b>Figura 91.</b> Ejecución de la impresión.....	102
<b>Figura 92.</b> Flujograma del diseño electrónico.....	102
<b>Figura 93</b> Algoritmo del diseño de un PCB.....	103
<b>Figura 94.</b> Ensamblaje de la mano y los dedos .....	103
<b>Figura 95.</b> Flujograma del ensamblaje protesis tipo Gripper .....	104

<i>Figura 96.</i> Modelo tipo Gripper físico en aluminio .....	106
<i>Figura 97.</i> Pulsadores .....	106
<i>Figura 98.</i> Micro motor de 1 a 100 de 1.7 kg·cm.....	106
<i>Figura 99</i> Circuito eléctrico para el montaje en la prótesis.....	109
<i>Figura 100</i> Pantalla capturada del telefono con reconocimiento de voz (reconocer) .....	110
<i>Figura 101.</i> Diseño final de la prótesis.....	110
<i>Figura 102</i> Instalacion de la cubierta en los dedos .....	111
<i>Figura 103.</i> Primer prototipo para pruebas de mecanismo .....	111
<i>Figura 104.</i> Ubicación del muñón en el primer prototipo de acople.....	111
<i>Figura 105.</i> Acople del dispositivo al muñón del paciente .....	112
<i>Figura 106.</i> Diseño final y resultado .....	112

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Factor de seguridad para PLA .....	18
<b>Ecuación 2</b> Relación de transmisión piñón-engranaje conducido.....	42
<b>Ecuación 3</b> Módulo de engranes .....	43
<b>Ecuación 4</b> Fuerza para poder subir y bajar una carga respectivamente .....	46
<b>Ecuación 5</b> Torque para poder subir y bajar una carga respectivamente .....	46
<b>Ecuación 6</b> Condición para la selección de un tornillo .....	47
<b>Ecuación 7</b> Longitud total del eslabón .....	48
<b>Ecuación 8</b> Velocidad lineal en función de la velocidad angular del piñón.....	49
<b>Ecuación 9</b> Aceleración lineal en función de la aceleración angular del piñón .....	49
<b>Ecuación 10.</b> Criterio de Grashoft.....	50
<b>Ecuación 11.</b> Ecuación de cierre. ....	56
<b>Ecuación 12.</b> Ecuación de Euler.....	56
<b>Ecuación 13</b> $\theta_3$ en función de las posiciones y ángulos .....	56
<b>Ecuación 14</b> $\theta_4$ en función de las posiciones y ángulos .....	56
<b>Ecuación 15</b> Ecuación de Euler derivada para las velocidades.....	58
<b>Ecuación 16.</b> Real velocidad .....	58
<b>Ecuación 17</b> Imaginarios velocidad .....	58
<b>Ecuación 18</b> Velocidad angular.....	58
<b>Ecuación 19.</b> Velocidad angular en función de la velocidad .....	59
<b>Ecuación 20</b> Aceleración con números reales .....	60
<b>Ecuación 21</b> Aceleración con números imaginarios .....	60
<b>Ecuación 22</b> Despeje de $\alpha_4$ .....	61
<b>Ecuación 23</b> Aceleración eslabón r3 .....	61

<b>Ecuación 24</b> Aceleración eslabón r4 .....	61
<b>Ecuación 25</b> Ecuación de cierre conducido.....	62
<b>Ecuación 26</b> Primera ecuación del eslabón imaginario req2.....	62
<b>Ecuación 27</b> Segunda ecuación del eslabón imaginario req2.....	62
<b>Ecuación 28</b> Comportamiento del ángulo del eslabón req2 .....	63
<b>Ecuación 29</b> Números reales (Velocidad) en req2 .....	63
<b>Ecuación 30</b> Números imaginarios (Velocidad) en req2.....	63
<b>Ecuación 31</b> velocidad en el punto de interés req2 .....	63
<b>Ecuación 32</b> Velocidad angular en req2.....	64
<b>Ecuación 33</b> velocidad en el punto de interés mediante teorema de potencias .....	67
<b>Ecuación 34</b> Velocidades angulares .....	67
<b>Ecuación 35</b> Velocidad angular en r3.....	67
<b>Ecuación 36</b> velocidad angular en r4 .....	68
<b>Ecuación 37</b> Fuerza en el punto de interés .....	68
<b>Ecuación 38</b> Fuerza para poder subir y bajar una carga respectivamente tornillo muñeca.....	77
<b>Ecuación 39</b> Torque para poder subir y bajar una carga tornillo muñeca .....	77
<b>Ecuación 37</b> Resistencia equivalente para 1Kg.....	84
<b>Ecuación 40</b> Corriente del sensor .....	84

## RESUMEN

Las ausencias de las extremidades superiores a causa de un accidente provocan un daño en la persona que a pesar de tratamientos no recupera su movilidad a un cien por ciento por lo que se establece programas de adaptación o inclusión social, dentro del capítulo primero se presenta un marco teórico que permite esclarecer temas tratados debido al uso de varias fuentes de información se recolecta lo esencial para el desarrollo, continuando con el capítulo dos se introduce al diseño concurrente y técnicas de selección basado en criterios, lo que conlleva a la clasificación, modo de funcionamiento, tipo de control, materiales y forma física que adoptara el dispositivo considerando los costos del mercado nacional e importaciones, la selección de una categoría de mano robótica se basa en proyectos que se referencien o sean útiles para el dispositivo, en sus técnicas de construcción o movimientos que posean, los modos de transmisión de la potencia mecánica se los considera dentro de estos para adaptarlos al dispositivo, un factor importante de la selección de materiales es que no proporcionen un peso excesivo al dispositivo o que no tengan una utilidad, una vez realizado un diseño exhaustivo con pruebas físicas o prototipos para su correcto funcionamiento y reemplazando medidas erróneas o consideraciones en su construcción en tres dimensiones, corrigiendo esto se procede a la realización del dispositivo final validando materiales que no sufrieron cambios en los prototipos dando como resultado un dispositivo pulido de errores básicos obteniendo un funcionamiento adecuado.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **PRÓTESIS TIPO GRIPPER**
- **MECANISMOS.**
- **ROBÓTICA.**
- **DISEÑO CONCURRENTE**

## ABSTRACT

The lacks of the upper extremities due to an accident cause damage to the person who, in spite of treatments, does not recover his mobility to one hundred percent. Consequently, we create programs of adaptation or social inclusion, In the first chapter, a theoretical framework is presented. It allows clarifying treated topics due to the use of information in several sources. The essential is collected for the development, in chapter two, it is introduced to the concurrent design and selection techniques based on criteria, which leads to the classification, mode of operation, type of control, materials and physical form adopted by the device considering the costs of the national market and imports. The selection of a robotic hand category is based on projects that are referred to or useful for the device, in its construction techniques or movements that they possess, the modes of transmission of mechanical power are considered within them to adapt to it. An important factor in the selection of materials is that they do not provide excessive weight to the device or that they do not have a utility to it, finally, a comprehensive design has been carried out with physical tests or prototypes for proper operation and substituting for erroneous measures or considerations in its construction in three dimensions, correcting this is done by validating the final device, validating materials that did not go through changes in the prototypes resulting in a proper operation.

### KEYWORDS:

- **GRIPPER TYPE PROSTHESIS.**
- **MECHANISMS.**
- **ROBOTICS**
- **CONCURRENT ENGINEERING.**

## CAPÍTULO I

### 1 FUNDAMENTO TEÓRICO Y GENERALIDADES

#### 1.1 Justificación e importancia

El diseño y la construcción debe estar regido por las necesidades que tienen los individuos con discapacidad, los constantes usos de las prótesis deben ser de satisfacción para el usuario *“ya que no es suficiente con un buen diseño eléctrico o mecánico o un buen brazo biónico si no cuanto cómodo se sienta la persona al usar una prótesis y su utilidad dentro de la vida cotidiana de esta naturaleza -Lizbeth Uzcategui 2014”*. Debido al cansancio del ser humano ante estímulos negativos por lo general cuando existe alguna molestia, se descarta el uso constante de la prótesis lo que conlleva a no generar avances o mejoras en estos dispositivos. Una mano robótica debe permitir su uso en diferentes condiciones como: el escribir, tomar un CD, aplastar un botón del control remoto, sujetarse a las barandas de un bus, tomar un vaso, entre otras situaciones cotidianas al no poder hacer estas actividades simples se generan frustraciones e inconvenientes. Por el contrario, al tener un dispositivo de última tecnología el costo de inversión es muy elevado y solo estará limitado a personas pudientes.

En la actualidad los avances en la tecnología permiten generar prótesis que asimilan o intentan reproducir los movimientos con manos robóticas o biónicas que pueden ayudar a las personas que se los incluya dentro de los programas laborales permitiendo que se integren de nuevo a la sociedad y por consecuencia un mejor estilo de vida al sentirse útiles compensando su discapacidad.

La generación de la mano robótica permitirá el diseño y la construcción basados en sistemas mecatrónicos para que las personas con discapacidad física recuperen sus capacidades motoras del miembro superior, al producir sistemas universales que sean realizables, asequibles, utilizables y

sostenibles en el Ecuador, recuperando parcialmente algunas capacidades físicas perdidas en algún accidente laboral o conceder moviidades específicas a personas con males congénitos de carencia dela extremidad superior.

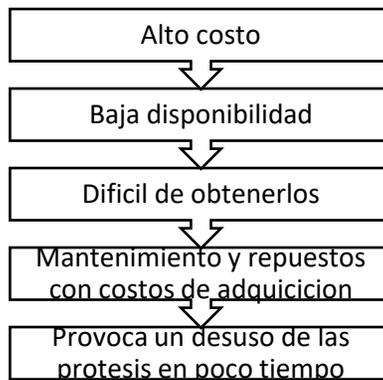
## **1.2 Antecedentes**

Las prótesis robóticas generan gran expectativa en pacientes con discapacidades físicas dando en ellos una visión a futuro de cómo se adaptarán en sus vidas, el avance tecnológico dentro de esta rama es muy alto con prótesis que llegan a realizar varias actividades como es el caso de Lizbeth Uzcategui que posee un brazo biónica de mayor avance tecnológico en Estados Unidos ( (CBS Miami, 2015) (CBSnews, 2015)) al poder realizar actividades cotidianas comunes como una persona normal, una mano robótica de estas características tiene costos elevados debido a su investigación y fabricación con elementos que no son comunes. Algunos proyectos de investigación poseen características únicas inclusive llegan a tener el sentido del tacto, sentir fenómenos físicos como calor o frio actualmente están en desarrollo generando limitaciones a personas que no están en la capacidad de adquirirlos por su costo, mantenimiento y reparación.

## **1.3 Planteamiento del problema**

El ser humano al ser una “máquina perfecta” puede padecer accidentes que pueden producir, una mutilación o daño de las extremidades, los efectos para el individuo que lo sufre son devastadores. La mano al tener una funcionalidad muy versátil y de contar con sensibilidad al dolor, frío, calor, entre otras propiedades, es un miembro esencial en la vida cotidiana de cada ser humano, la ausencia del mismo afecta de una manera más crítica, además del dolor físico es el dolor de la discriminación al no poseer las funciones habituales del miembro superior ( (telégrafo, 2013)).

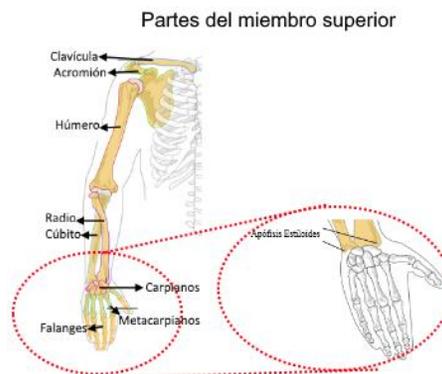
Las prótesis que se encuentran en diseños o investigaciones previas y actuales son de costos elevados los cuales no se puede adquirir de una manera fácil o no se encuentra disponibles; además se encuentran dificultades en lo que se refiere a mantenimiento y reparación. Los usos de estas prótesis en ciertos casos se han enfocado más en lo estético y en la implementación de tecnología, en lugar de la funcionalidad, comodidad, durabilidad y accesibilidad. Lo que ha provocado que las soluciones para la capacidad física sean incómoda, costosas y circunstanciales.



**Figura 1.** Analogía del uso de las prótesis

#### 1.4 Estructura y miología de la mano

Las extremidades superiores están constituidas por huesos, músculos que permiten al ser humano interactuar con el medio exterior.

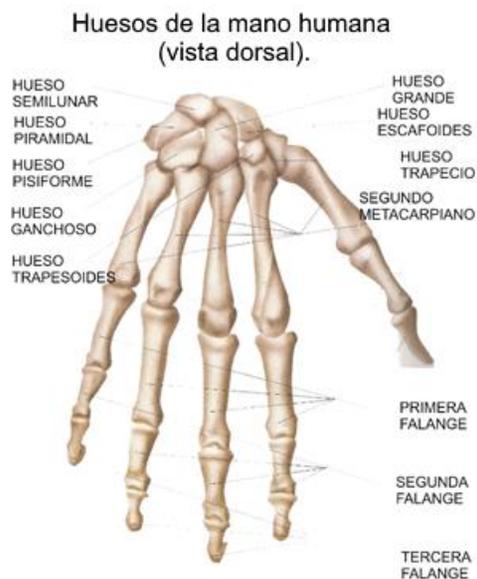


**Figura 2** Partes del miembro superior

Fuente: (Martínez, 2015).

### 1.4.1 Composición ósea de la mano.

Es la parte final de la extremidad superior y está compuesto por diferentes tipos de huesos posee una cantidad de 127 huesos los cuales se encuentran distribuidos en tres áreas las cuales son:



**Figura 3** Huesos de la mano humana (vista dorsal).

Fuente: (Ortega, 1985)

Los dedos están conformados por las falanges: primera segunda y tercera, en el caso del dedo pulgar carece de una tercera falange.

La muñeca se encuentra conformada por otro tipo de huesos que se asemejan a poliedros los cuales son semilunar piramidal, pisiforme, ganchoso, hueso grande, escafoides y trapecio denotado en la figura anterior en donde se muestra los nombres y la ubicación, los huesos pertenecientes a la muñeca permiten que la mano posea gran número de grados de libertad, la palma está compuesta principalmente por los metacarpianos.

### 1.4.2 Movimientos principales de la mano.

La mano conjuntamente con el antebrazo posee una gran cantidad de movimientos complejos y básicos permitiendo desenvolverse dentro de la vida cotidiana algunos tipos de movimientos toman de referencia desde el centro de la mano.

**Flexión:** Se le atribuye en principal a los dedos y su capacidad para contraerse generando posiciones denominados característicamente prensión en forma esférica cilíndrica, punta de gancho esférico e palma y de lado.

**Extensión:** en la misma que la flexión se extienden los dedos para poder recuperar la forma inicial.

**Abducción:** se caracteriza por la separación del dedo pulgar con respecto al dorsal de la mano.

**Aducción:** Es la reubicación en paralelo de los dedos entre ellos.

**Supinación:** este movimiento se lo denomina como de posición supino o denominado boca arriba haciendo una referencia al cuerpo humano cuando se encuentre acostado sobre su espalda y la palma se ubica hacia arriba.

**Pronación:** Al contrario de la supinación este movimiento lleva la palma de la mano hacia abajo ubicando al pulgar hacia la parte interior.

### 1.5 Estado del arte prótesis de mano.

Una prótesis es un dispositivo que permite el reemplazo de las funciones importantes dentro del individuo en su vida cotidiana. (Correa Arroyave, Hower Ceballos, & Pareja Rodríguez, 2012). Los dispositivos mioeléctricos manejan señales muy débiles no es recomendable para ambientes rústicos o industriales debido a su voltaje casi imperceptible de micro voltios (uV) por lo que cualquier señal parasita interferirá con los sensores( (Universidad de Buenos Aires, 2011)). Al

encontrarse expuesta a perturbaciones electromagnéticas que interfieren directamente en el control del mismo, produciendo errores en el manejo.

“Una prótesis accionada por electricidad proporciona un mayor nivel de tecnología, pero a un mayor costo. (Mexico, Universidad Nacional Autónoma, 2016)”.

### 1.5.1 Tipos de prótesis de manos generalizadas

Una mano es uno de los órganos más importantes del cuerpo humano de acuerdo a esto el sentido de la presión y el tacto son indispensables al momento de manipular objetos del exterior a continuación se presentará en algunas de las prótesis:

#### 1.5.1.1 Prótesis estéticas

Son utilizadas en personas quienes han sufrido amputaciones no en su totalidad de su extremidad, su uso y su funcionalidad se encuentran limitado al movimiento de la misma extremidad, su mantención es sencillo debido a que no poseen piezas móviles e incluso se componen de un solo cuerpo que facilita su cambio si entran en contacto con grasas dañan o degradan la superficie su costo varía dependiendo de la complejidad.

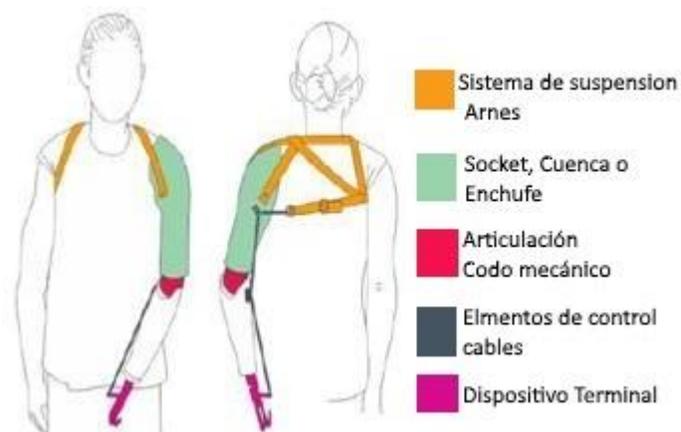


**Figura 4** Prótesis cosméticas o estéticas

Fuente: (Amputee Coalition of the america in partership, 2014)

### 1.5.1.2 Prótesis mecánicas.

Este tipo de prótesis se encuentran en las más usadas y de preferencia por las personas que no tienen en su totalidad la extremidad por su costo que es más asequible para la mayoría, pero al ser rustico produce algunas desventajas que son laceraciones hematomas e irritaciones en la piel, en la actualidad con los avances tecnológicos y las estrategias en construcción de mecanismos el pulgar adquirió una gran importancia debido a que en este se puede obtener información sobre la fuerza que está siendo ejercida directamente al objeto a partir de sensores de presión mecánicos o electrónicos (Burgos, 2010) pag.27.

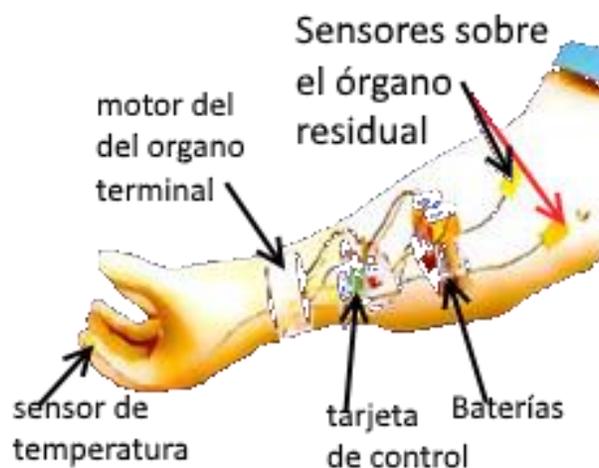


**Figura 5** Prótesis mecánica sujeta por la espalda

Fuente: (UNAM, 2011), (Superior, 2009)

### 1.5.1.3 Prótesis eléctricas y mioeléctricas.

Este tipo de prótesis son la más usadas para una mayor movilidad y funcionalidad en las acciones cotidianas de la persona debido a la actuación de sensores e interruptores que habilitan e inhabilitan funciones del dispositivo (Robotha- Robot Humano Asistencial, s.f.), poseen dispositivos extremadamente sensibles a corrientes y voltajes minúsculos del orden de los micro unidades de voltio.



**Figura 6** Prótesis Mioeléctrica y sus partes

Fuente: (Universidad de Buenos Aires, 2011)

#### 1.5.1.4 Prótesis neumáticas.

El elemento principal es el aire comprimido que mediante una bomba o compresor permite accionar pistones que producen movimientos debido a la presión manométrica que accionan directamente a los dedos o falanges además de su construcción rustica su mantenimiento y su reparación es de consideración.



**Figura 7** Prótesis neumática

Fuente: (Burgos, 2010)

### 1.5.1.5 Prótesis híbridas.

Es la sinergia entre distintos tipos de sistemas de activación mecánicas del cuerpo con electricidad esta prótesis en general ayuda a pacientes que poseen una discapacidad trans-humerales (arriba del codo).



**Figura 8** Prótesis híbrida

Fuente: (ALVARADO, 2011)

## 1.5.2 Tipo de prótesis con alto grado de tecnología a nivel mundial

### 1.5.2.1 Prótesis i-limb.

Este tipo de prótesis cumple con los diversos tipos de movimientos básicos de una mano tipo antropomórfica permitiendo reingresar al campo laboral y mejorando el estilo de vida.



a)



b)

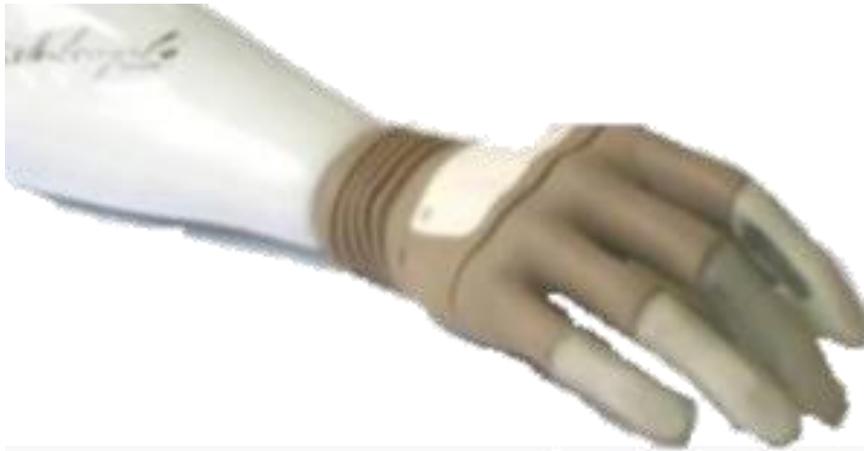
**Figura 9** Prótesis I-limb a) Primeras protesis  
b)Últimas protesis mioelectricas

Fuente: (ALVARADO, 2011)

Dentro de esta prótesis se encuentran servomotores que permiten el movimiento de los distintos dedos que conforman la mano.

### 1.5.2.2 Prótesis Michael angeló.

El dispositivo posee controles independientes del dedo y de la palma constituida por sensores Mioeléctricos que generan muchos usos proporcionando naturalidad su hermeticidad permite soportar hasta tres metros bajo el agua.



*Figura 10.* Protésis de mano michael angeló.

Fuente: (Andrei Hower, Correa Arroyave, & Pareja Rodríguez, 2012)

### 1.5.2.3 Prótesis cyber hand.

De alto costo debido a la intervención quirúrgica necesaria de este dispositivo caracterizado por su sensibilidad a la presión y temperatura cuyas señales son recolectada por los sensores que se encuentran conectadas a las terminaciones nerviosas.

#### **1.5.2.4 Mano Stanford / jpl**

Compuesto principalmente por tres dedos unidos con cables de acero que son controlados a distancia por servo motores la velocidad con la cual funciona queda limitada a la de los motores (ALVARADO, 2011) pág. 22.

#### **1.5.3 Proyectos basados en necesidades de personas con discapacidad física.**

Internacionalmente existen una gran cantidad de fabricantes que se dedican al diseño y construcción de sistemas protésicos que ayudan a personas con discapacidad en el país dentro de ingeniería se busca establecer proyectos universitarios para el desarrollo e investigación de dispositivos que permitan cubrir las necesidades de algunas discapacidades físicas en el ámbito de rehabilitación o de prótesis de miembro superior como es el caso de algunas investigaciones.

##### **1.5.3.1 Diseño e implementación de dos manos robóticas, controladas por teclado y voz mediante Android, para realizar operaciones matemáticas básicas en la unidad educativa especializada Cotopaxi**

(Molina Beltrán & Ronquillo Curicho, 2015) el proyecto se basó en la interacción de dos manos antropomórficas que permiten a niños incursionen en la robótica al desarrollar investigación e innovación dentro de operaciones básicas suma resta multiplicación cuyo resultado sea menor a diez que son movibles con servomotores towerpro de 1Kgr\*cm con un voltaje de 4.8- 6V. En aporte a la investigación denota en experiencias dentro de la impresión 3D el uso de programas para el análisis estructural y el uso de plataformas innovadoras como uso de **APP INVENTOR** para la interacción celular mediante comunicación inalámbrica mediante protocolo UART RS 232 mediante comunicación Bluetooth.

### **1.5.3.2 Diseño y construcción de una mano robótica inalámbrica.**

(ALVARADO, 2011). El diseño de esta mano robótica se basa en la comunicación inalámbrica mediante Zigbee con tarjetas de comunicación Xbee pro de serie 1 con un voltaje de 2.8 a 3.4 Volt su diseño es antropomórfico que permite el movimiento de flexión de los dedos en una forma remota este proyecto fue creado en el año del 2011 en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, el micro controlador usado en este proyecto es el pic16F877A en la parte de la mano robótica y pic16F876A en el guante. En el uso de baterías independientes es fundamental para poder separar las etapas de control y de potencia evitando así interferencias. Las articulaciones fueron implementadas mediante servomotores HEXTRONIK. HXT900 con 1,6 Kg-cm, usando una estructura de acrílico.

### **1.5.3.3 Medidas de calidad para la prensión de objetos de un Gripper**

Roa, Máximo (Roa, 2008) Barcelona, España según un estudio realizado se debe tomar en cuenta la figura geométrica del cuerpo para realizar un diseño de prensión mediante criterios técnicos mecánicos en base a geometría de poliedros.

### **1.5.3.4 Diseño de una prótesis biónica de mano de 7 grados de libertad utilizando materiales inteligentes y control mioeléctrica adaptada para varios patrones de sujeción**

(Murillo Mantilla & Monar Naranjo , 2015). Latacunga – Ecuador la construcción de este proyecto se basó principalmente en la fisionomía de los dedo e interacción de materiales electro deformables los cuales permitían el movimiento de los mismos de esta manera se sujetaban objetos.

### **1.5.3.5 Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres.**

(Burgos, 2010) La característica principal de este proyecto se basa en el movimiento mediante micro servos que son controlados por un microcontrolador de PIC30F6014A se realiza un estudio de campo en donde se compara sistemas biológicos con los sistemas artificiales estímulos como fuerza, tacto, deslizamiento y posición.

### **1.5.3.6 Diseño de una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas.**

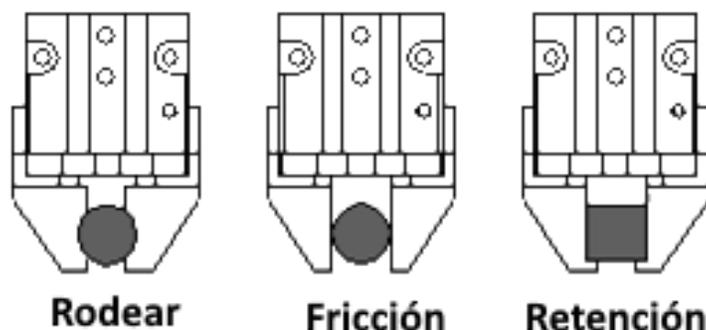
Posee alrededor de diecisiete grados de libertad los cuales son comandados mediante Labview su modularidad físico se lo puede aplicar en otras aplicaciones como es el caso de prótesis, los materiales implementados fueron grilón y dentro del programa Labview un toolbox de “artificial visión”, un micro procesador 18f4550 que controla el ancho de pulsos de los servomotores la transmisión del movimiento es mediante hilos ya que no existe exigencia en sujetar o presión de los dedos.

## **1.6 Gripper desde el punto de vista de la robótica**

Un Gripper es un dispositivo que se encuentra ubicado en la parte extrema de un robot en donde se los usa para la manipulación de distintos objetos tantos pesados como ligeros de grande y pequeña envergadura permite que el uso de estos efectores se haya extendido es el caso de Gripper: a) neumáticos, b) disco de levas, c) de mordazas paralelas con dos cilindros, d) mordazas angulares

### 1.6.1 Gripper tipo mordaza paralelo.

Estos tipos de Gripper se utiliza en la robótica para la sujeción de objeto de pequeña envergadura que permite la sujeción de tres tipos de objetos que dependerán de la forma los cuales se denominan (OMEGA, 2003).



*Figura 11.* Gripper tipo mordaza con agarre de tipo fricción y retención.

Fuente: (OMEGA, 2003)

### 1.6.2 Gripper tipo tres dedos (Stanford)

Al poseer tres puntos de contacto con el objeto permiten tener mejor estabilidad y precisión el objeto queda adherido firmemente al dispositivo. La información de construcción de este tipo de Gripper es muy restringido por lo que se puede hacer analogía a proyectos que se basan en la construcción de dedos robóticos accionados por cables y servomotores que son mayormente accesibles en el mercado como es en el caso de manos robóticas que ayudan a personas con déficit auditivo (Andrade Zeas & Zúñiga Tenesaca, 2011). En la investigación de campo de manos robóticas que se adaptan a diferentes tipos de objetos con más de tres puntos de sujeción al objeto de interés (Burgos, 2010).

### 1.6.3 Gripper tipo garra

Este tipo de Gripper se usa con una transmisión tipo engranes que se las suministra directamente desde el servomotor hasta los efectores finales las uñas o llamadas también garras (OMEGA, 2003).

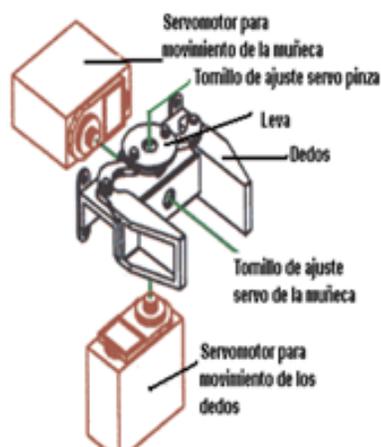


**Figura 12.** Gripper tipo garra.

Fuente: (OMEGA, 2003)

### 1.6.4 Gripper comercial

Este tipo de Gripper es el más común en el mercado ya que su única utilización es la de introducir a los programadores en el entorno de programación a servos y su funcionamiento dentro de un efector final (Gonzales, 2003).

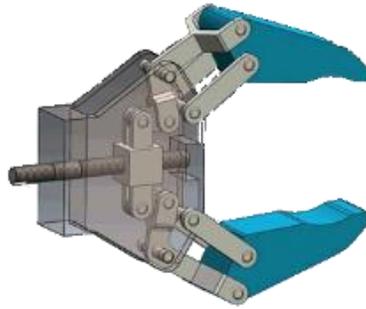


**Figura 13.** Gripper comercial.

Fuente: (Gonzales, 2003)

### 1.6.5 Gripper tipo cremallera o tornillo central

Este tipo de Gripper se o usa por su funcionamiento y auto bloqueo que mantiene al objeto adherido estable manteniendo la fuerza de presión. La presión depende directamente del torque aplicado al tornillo sinfín que comunica el movimiento a las pinzas de presión.



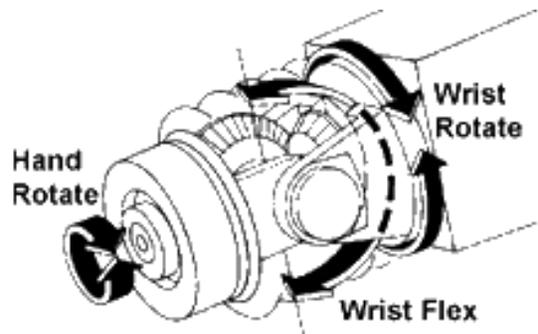
*Figura 14.* Gripper con tornillo central.

Fuente; (Gripper, s.f.)

## 1.7 Muñeca para el movimiento transversal.

La funcionalidad de la muñeca constituye una movilidad complementaria, pero con una versatilidad al momento de manipular los objetos.

### 1.7.1 Muñeca robótica



*Figura 15.* Movimiento “Wrist Flex”.

El movimiento de interés es el wrist Flex que produce un movimiento lateral a base de engranes cónicos, que en lo que se refiere a la tesis se optara.

## 1.8 Materiales para prótesis de mano robóticas.

Los materiales utilizados en este campo de las prótesis se encuentran limitados por su capacidad de toxicidad con la piel humana.

Estos serán de acuerdo al esfuerzo que se genera en cada parte del dispositivo se seleccionaran según su resistencia mecánica y toxicidad que se basaran en textos científicos y fuentes fiables, en el enmarque de fabricación de ingeniería se encuentra basada en metales que son moldeados con maquinaria CNC fresadoras y tornos los cuales manipulan doblan y mecanizan estos elementos hasta darles dimensiones de acorde al diseño establecido para su correcta funcionalidad otro de los principales materiales de ingeniería son los polímeros que son usados ampliamente en prototipado rápido y de menos coste que los anteriores procesos de fabricación. La revolución de las impresoras en tres dimensiones permite obtener un panorama real antes de la fabricación final procediendo a analizarlo antes de la obtención en un proceso de fabricación en serie.

## 1.9 Elementos para el diseño de estructura y recubrimiento

### 1.9.1 Filamento de impresión 3d (PLA y ABS).



*Figura 16.* Bobinas para impresión 3D..

Fuente: (Impresiones3D.com, 2013)

Poliácido láctico (PLA) es un material no tóxico, biodegradable y de moderada resistencia mecánica debido a su composición de fibras naturales de maíz la baja toxicidad le permite ser adecuado para prótesis o su contacto directo o parcial con la piel (3D.com, s.f.).

$$\text{Resistencia a la cedencia PLA } 1240 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ y } S_y = 60 \text{MPa}$$

Según la resistencia de Mott como es una carga repetida se hace referencia a un factor de seguridad de 2 por lo que es el resultado será dos veces de la resistencia a cedencia.

$$\sigma_d = \frac{S_y}{2}$$

**Ecuación 1**  
Factor de seguridad para PLA

$$\sigma_d = 60 * \frac{10^6 \text{Pascales}}{2} = 30 * 10^6 \text{Pascales}$$

El ABS llamado Acrilonitrilo Butadieno Estireno este material es también usado por su alta resistencia a golpes y temperaturas se lo hace fiable dentro de la ingeniería de diseño una desventaja es la generación de gases nocivos al momento de su fusión que en gran concentración afectan la salud de la persona.

**Tabla 1**

*ABS a 25°C propiedades físicas.*

Parámetro	Promedio
Esfuerzo de ruptura [Mpa]	31.55
Deformación de ruptura	0.055
Coefficiente de rigidez [Mpa.]	38.83
Módulo de young [mpa]	2180
Esfuerzo de fluencia [mpa]	34.96
Esfuerzo máximo [mpa]	38.21
Deformación a esfuerzo máximo	0.019

Fuente: (Impresiones3D.com, 2013)

### 1.9.2 Fibra de vidrio

La idea de construcción de la carcasa de la mano robótica en este material se encuentra en estudio para concluir si sus propiedades son cancerígenas por la utilización de materiales como epoxica rígida dañina a la piel. El uso de este material es estable no es inflamable y no cancerígeno

lo que provoca una posible y correcta salida para la construcción de materiales protésicos en poca medida en Ecuador la norma que rige la producción de esta técnica de fabricación es la NTE INEN 2 266:200 (Grupo TRANSMERQUIM, 2014)

### 1.9.3 Pcb (printed circuit board) para tarjeta electrónica.

Su inconveniente se encuentra al fabricar las tarjetas electrónicas que en general se lo hace de modo casero con la utilización de ácido para corroer el cobre, los circuitos electrónicos se los implementa debido a las necesidades de activar los servomotores, sensores, tarjetas electrónicas otorgando movilidad al dispositivo los materiales que se usan en general no entran en contacto con la piel esto se debe a que se encuentran protegidas contra el medio ambiente para proporcionar seguridad tanto de la tarjeta como del usuario además el voltaje debe ser seguro o estándar TTL (voltaje de 5V en la tarjeta) . (WIKIPEDIA, s.f.)

### 1.9.4 Materiales metálicos

**Tabla 2**

*Valores próximos del módulo de Young.*

Tracción en Giga Pascales[Gpa]	
Acero	200
Aluminio	70
Caucho	$1 \times 10^{-3}$
Cobre	110
Hierro	190
Hueso	16
Latón	90
Plomo	16
Tungsteno	360
Vidrio	70

Fuente: (MIRABENT, LLEBOT RABAGLIATI, & PÉREZ GARCÍA, 2008)

Los materiales más comunes son el aluminio y acero a continuación se presenta las características del acero más usado

### 1.9.4.1 Acero. – AISI 1018

AISI (American Iron and Steel Institute o Instituto americano del hierro y el acero) 1018 Este elemento de los más comunes y disponibles en el mercado metalúrgico para ejes de transmisión y su composición química de carbono 0.15-0.20 manganeso de 0.60 fosforo de 0.40 y azufre 0.050 esto permite que posea una tenacidad no muy alta pero efectiva para el mecanismo en la utilización del tornillo de potencia y el tornillo sin fin debido a su rozamiento constante.

**Tabla 3**

*Características puntuales del acero AISI 1018.*

<b>Características principales.</b>	
Esfuerzo de cedencia (kg/mm <sup>2</sup> )	min 31
Resistencia a la tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	51 – 71
Elongación, A5	20 %
Reducción de área. Z	57 %
Dureza (HB)	163

Fuente: (IVANBOHMAN, s.f.)

### 1.9.4.2 Aluminio 7075-t6

**Tabla 4**

*Ponderación de criterios con respecto a las soluciones establecidas .*

<b>Propiedades físicas del material usado en la fabricación</b>			
Densidad [gr/cm <sup>3</sup> ]	2.80	Coefficiente dilatación (0 a 100oC) [oC-1 x 10 <sup>6</sup> ]	23.5
Rango de fusión [oC]	475-630	Conductividad Térmica (0 a 100°C) [W/m°C]	Temple T6: 130
Módulo de elasticidad [MPa]	72000	Resistividad a 20 °C [μOcm]	Temple T6: 5.2
Coefficiente de Poisson	0.33	Calor especifico (0 a 100 oC)	915

## 1.10 Procedimientos de la investigación.

Dentro de ingeniería concurrente se puede tomar en cuenta los diferentes prototipos que se generan de forma física o simulada definiendo los conceptos de ciclo de vida del producto como son.

¿Hay suficientes clientes potenciales para cubrir los gastos de diseño y desarrollo? En este caso las personas con discapacidad. ¿La empresa tiene capacidad para emprender el proyecto? Se establece con un diseño único pero ajustable a necesidades del proyecto, ¿Tiene al alcance ayudas

exteriores? El proyecto se encuentra avalado por experiencia de uso de prótesis mediante fuentes confiables mediante criterios e informaciones con veracidad científica o bibliográfica (Romeva, 2002) además del estudio una técnica que se aporta es la de ponderar soluciones para poder establecer la más adecuada en la realización del proyecto.

La técnica de funcionalidad o método de funciones se la aplica a las investigaciones científicas que se encuentran encaminadas a buscar una solución particular reduciendo errores en la ejecución física del proyecto al establecer parámetros que permiten dividir en módulos según las ejecuciones del dispositivo.

## CAPÍTULO II

### 2 METODOLOGÍA

La metodología a utilizar se lo realiza mediante criterio de ingeniería concurrente que se encarga de establecer parámetros previos o antes de un diseño que permite generar soluciones en base a las sugerencias del usuario conjugando con las bases de ingeniería y conocimiento adquiridos a continuación se establece tipos de Gripper para las soluciones.

#### 2.1 Criterios ponderados para utilización del dispositivo

Una forma empírica para obtener una solución se procede a construir criterios y alternativas para proceder a una buena estructuración de una solución (Romeva, 2002) Pág. 59. Se construye criterios más relevantes que deben tener el dispositivo a generar esto ayuda a enmarcar alternativas para considerarlas en una solución final en donde la elección constituye la mayor ponderación siendo los valores mostrados en la Tabla 5.

#### **Tabla 5**

*Asignación de los valores para comparación.*

<b>Ponderación de los criterios</b>
1 si las filas mejores que columnas
0,5 si las filas y columnas son igual de importantes
0 filas es peor que las columnas

Fuente: (Romeva, 2002) pág. 60

Para realizar la comparación y la validación de las soluciones mediante criterios se basa en la literatura, estado del arte y las disponibilidades de elementos y dispositivos tanto mecánicos, tarjetas de control, materiales eléctricos o electrónicos.

**Tabla 6**  
*Criterios para la validación de las alternativas de diseño.*

<b>Criterios importantes para las alternativa</b>		
Criterio 1	Peso del dispositivo	Debe ser el más ligero para generar una mejor utilización
Criterio 2	Fuerza de apriete	Para sujetar los diferentes cuerpos y seguridad del usuario
Criterio 3	Mantenimiento y reparación	Fácil en su reparación y repuestos
Criterio 4	Precio	Menor costo en la fabricación y el costo de vida
Criterio 5	Universalidad	Versatilidad para adaptarse a más de un nuevo usuario

**Tabla 7**  
*Peso específico para cada criterio.*

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Criterio 1		1	1	0	0	3,00	0,20
Criterio 2	0		1	0	1	3,00	0,20
Criterio 3	0	0		1	1	3,00	0,20
Criterio 4	1	1	0		1	4,00	0,27
Criterio 5	1	0	0	0		2,00	0,13

Como resultado se obtiene los siguientes pesos que se toman en la comparación de la tabla anterior con una perspectiva basada en información bibliográfica y textual de proyectos anteriores o similares.

**Tabla 8**  
*Valoración cada criterio.*

	<b>Resultado</b>	
Criterio 1	Peso del dispositivo	0,20
Criterio 2	Fuerza de apriete	0,20
Criterio 3	Mantenimiento	0,20
Criterio 4	Precio	0,27
Criterio 5	Universalidad	0,13

Analizando cada criterio con respecto a las soluciones y aplicando el método ordinal de criterios ponderados se percibe el siguiente resultado seleccionando las alternativas de diseño se procederá a generar soluciones desde un vasto marco de opciones hasta enmarcar un área específica y se procede a generar alternativas.

**Tabla 9***Alternativas en categorías.*

<b>Alternativas de las prótesis</b>	
Alternativa 1	Proyectos prótesis Gripper activación Mioeléctrica o a interruptor
Alternativa 2	Prótesis generadas en otros países , Mioeléctrica de empresas especializada
Alternativa 3	Prótesis proyectos antropomórfica
Alternativa 4	Prótesis cosméticas
Alternativa 5	Prótesis mecánicas y eléctricas

Para establecer un parámetro se genera una comparativa desde el punto de vista de cada criterio que vincule una alternativa con las demás mediante una asignación numérica para establecer la ponderación y el peso dentro de la solución asignando un valor numérico de cero al no poseer importancia, 0,5 si poseen igual importancia y el máximo de uno si es notable su valor es decir que su fila es más importante que su columna en la cual se compara.

**Tabla 10***Comparativa según el peso del dispositivo.*

<b>Peso del dispositivo</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Alternativa 5</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Alternativa 1		1	1	1	1	5,00	0,333
Alternativa 2	0		0,5	0,5	1	3,00	0,200
Alternativa 3	0	0,5		0,5	1	3,00	0,200
Alternativa 4	0	0,5	0,5		1	3,00	0,200
Alternativa 5	0	0	0	0		1,00	0,067
					Suma	15	1

La solución para este criterio se denota en alternativa: 1>2=3=4>5

**Tabla 11**  
*Comparativa según la fuerza de apriete .*

Fuerza de apriete	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	1	0	4,00	0,267
Alternativa 2	0		1	1	0	3,00	0,200
Alternativa 3	0	0		0	0	1,00	0,067
Alternativa 4	0	0	1		0	2,00	0,133
Alternativa 5	1	1	1	1		5,00	0,333
					Suma	15	1

La solución para este criterio se denota en alternativa: 5>1>2>4>3

**Tabla 12**  
*Comparativa según el criterio de mantenimiento.*

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	0,5	1	4	0,267
Alternativa 2	0		0	0,5	0,5	2	0,133
Alternativa 3	0,5	1		1	1	4,5	0,300
Alternativa 4	0,5	0,5	0		1	3	0,200
Alternativa 5	0	0,5	0	0		1,5	0,100
					suma	15	1

La solución de alternativa: 3>1>4>2>5

**Tabla 13**  
*Comparativa según criterio de precio .*

Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	1	1	4,5	0,300
Alternativa 2	0		0	0	0,5	1,5	0,100
Alternativa 3	0,5	1		0	0	2,5	0,167
Alternativa 4	0	1	1		0,5	3,5	0,233
Alternativa 5	0	0,5	1	0,5		3	0,200
					suma	15	1

La solución para este criterio se denota en alternativa: 1>4>5>3>2

**Tabla 14**  
*Comparativa según la universalidad.*

Universalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	1	0,5	4,00	0,267
Alternativa 2	0		0	0	0	1,00	0,067
Alternativa 3	0,5	1		1	1	4,50	0,300
Alternativa 4	0	1	0		0	2,00	0,133
Alternativa 5	0,5	1	0	1		3,50	0,233
					suma	15	1

La solución para este criterio se denota en alternativa: 3>1>5>4>2

Para establecer la importancia que se le dará, cada criterio se establecerá según los pesos específicos obtenidos en los apartados anteriores.

**Tabla 15**  
*Tabla de conclusiones para la selección del tipo de Gripper.*

Conclusiones	Peso del dispositivo	Fuerza de apriete	Mantenimiento	Precio	Universalidad	$\Sigma$
Proyectos prótesis Gripper activación Mioeléctrica o a interruptor	0,07	0,05	0,05	0,08	0,04	0,29
Prótesis generadas en otros países , Mioeléctrica de empresas especializada	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,14
Prótesis proyectos antropomórfica	0,04	0,01	0,06	0,04	0,04	0,20
Prótesis cosméticas	0,04	0,03	0,04	0,06	0,02	0,19
Prótesis mecánicas y eléctricas	0,01	0,07	0,02	0,05	0,03	0,18

Se obtiene dos soluciones que enmarcaran el diseño los cuales se adoptaron criterios de selección;

**Tabla 16**  
*Solución final.*

Selección	
Proyectos locales de prótesis tipo Gripper con activación Mioeléctrica o a interruptor	0,29
Prótesis generadas en otros países , Mioeléctrica de empresas especializada	0,14
Prótesis proyectos antropomórfica	0,20
Prótesis cosméticas	0,19
Prótesis mecánicas	0,18

Según el enmarque de la solución establecida el principal es realizar un proyecto de prótesis con activación Mioeléctrica o interruptores por la decisión de optar en el título de proyecto se optará por establecer una mano tipo Gripper como principal selección, pero influenciado por construcción antropomórfica con activación a interruptores al aplicar la misma técnica se prescribe las siguientes nuevas alternativas con las características establecidas las cuales son:

### 2.1.1 Selección de la prótesis de según el estado del arte

**Para poder establecer una solución dentro del diseño se debe establecer primero literatura acerca de las posibles alternativas más centradas en la creación del proyecto como se muestra a continuación basados en los diseños, creaciones y soluciones a problemas que enmarcan a prótesis Ortesis, manos & Gripper robóticos, además de simulaciones como se muestra en la**

Tabla 17.

**Tabla 17**

*Asignación de elementos a las diferentes alternativas de diseño .*

	<b>Tipo de Gripper</b>	<b>Actuador</b>	<b>Driver del actuador</b>	<b>Transmisión física</b>	<b>Auto bloqueo</b>	<b>N° dedos</b>
Alternativa 1	Dedos antropomórficos	Motores eléctricos	tarjeta de control	hilos	No	3
Alternativa 2	Dedos antropomórficos	Materiales electro expandibles	tarjeta de control	hilo	No	5
Alternativa 3	Garras	Motor o cilindro	Mediante tarjeta de control	Eslabón y tornillo de transmisión	Si	3
Alternativa 4	Garras	Motor o servomotor	Tarjeta embebida	Engranajes	No	3
Alternativa 5	Antropomórfica	Servomotor	Tarjeta de control	hilos	No	3
Alternativa 6	Gripper comercial	Servomotor	Tarjeta de control servo		Si	2
Alternativa 7	Dedos paralelos	Neumática	Bomba neumática	ductos de aire	No	2
Alternativa 8	Dedos antropomórficos	Servomotores	Tarjeta de control	Directo	No	5

Para establecer un mejor manejo se procede a nombrar o designar nombres a los proyectos seleccionado tal y como se muestra en la Tabla 18 que proporciona una mejor comprensión de las alternativas para la selección adecuada.

**Tabla 18**  
*Asignación de nombres a las diferentes alternativas.*

Alternativas	
Alternativa 1	Prótesis antropomorfa tipo stanford a interruptores
Alternativa 2	Prótesis mioeléctrica antropomorfa materiales inteligentes
Alternativa 3	Prótesis tipo cremallera y garras con activación a interruptores
Alternativa 4	Prótesis gripper tipo garras a interruptor
Alternativa 5	Prótesis antropomorfa a servomotores hecho con impresión 3d
Alternativa 6	Prótesis tipo pinza comercialmente disponible
Alternativa 7	Prótesis gripper a base de mordaza en paralelo
Alternativa 8	Mano inalámbrica (alvarado 2011)

En la consecución de la mejor alternativa se procede a generar criterios que son basados en la interacción de personas con discapacidad física que proporcionaron ideas o criterios para dispositivos de prótesis como fueron ingeniero Angel Armendariz perteneciente a la elepco (año de la consulta 2016).

**Tabla 19**  
*Criterios de aporte a la solución final .*

Criterio	Fuerza de apriete	Tamaño y peso	Durabilidad	Universalidad	Mantenimiento y reparación	Costo del proyecto	$\Sigma+1$	Ponderación
Fuerza de apriete		1	0,5	0,5	0	0,5	3,50	0,17
Tamaño y peso	0		0,5	0,5	0,5	0	2,50	0,12
Durabilidad	0,5	0,5		1	1	0	4,00	0,19
Universalidad	0,5	0,5	0		0,5	1	3,50	0,17
Mantenimiento y reparación	1	0,5	0	0,5		0	3,00	0,14
Costo del proyecto	0,5	1	1	0	1		4,50	0,21

En los criterios que se relacionan entre ellos se establecerá la importancia entre los mismos.

**Tabla 20**  
*Ponderación de las alternativas con respecto a criterios.*

	Fuerza de apriete	Tamaño y peso	Durabilidad	Universalidad	Mantenimiento y reparación	Costo del proyecto
Prótesis antropomorfa tipo Stanford a interruptores	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Prótesis Mioeléctrica antropomorfa materiales inteligentes	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04
Prótesis tipo cremallera y garras con activación a interruptores	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03
Prótesis Gripper tipo garras a interruptor	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04
Prótesis antropomorfa a servomotores hecho con impresión 3D	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04
Prótesis tipo pinza comercialmente disponible	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Prótesis Gripper a base de mordaza en paralelo	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Prótesis de mano inalámbrica basados en la construcción (Alvarado 2011)	0,04	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01

**Tabla 21**  
*Sumatoria para la selección de las 4 alternativas de solución final .*

	Total	Evaluación
Prótesis antropomorfa tipo Stanford a interruptores	0,1224	
Prótesis Mioeléctrica antropomorfa materiales inteligentes	0,1399	Aceptada
Prótesis tipo cremallera y garras con activación a interruptores	0,1233	Aceptada
Prótesis Gripper tipo garras a interruptor	0,1389	Aceptada
Prótesis antropomorfa a servomotores hecho con impresión 3D	0,1376	Aceptada
Prótesis tipo pinza comercialmente disponible	0,1144	
Prótesis Gripper a base de mordaza en paralelo	0,1204	
Prótesis de mano inalámbrica basados en la construcción (Alvarado 2011)	0,1032	

Para establecer una solución precisa se debe generarlas con características que aporten lineamiento a los objetivos y metas en este caso las soluciones anteriores permiten tener una referencia exacta para la construcción del dispositivo a continuación se establece las características físicas.

### 2.1.2 Despliegue de la función de calidad QFD,

QFD, (quality functional deployment) la casa de la calidad La evaluación mediante criterios y las exigencias del usuario o personas que ocuparían el dispositivo la mejor alternativa de diseño que

enmarca o evalúa dos criterios a la vez es la casa de la calidad que permite obtener una aclaración de las distintas causas para evitar posibles efectos negativos que se puede desarrollar en el transcurso del proyecto, la característica principal de la casa de la calidad es:

Correlaciones.- que enmarcan dos criterios que son impuestos por la voz del usuario y del ingeniero que es la (voz técnica que se obtiene por experiencia o conocimiento teórico) (Romeva, 2002) pág. 180.

La voz de usuario: se encuentra ubicada en el sector izquierdo de la casa que implica las necesidades o exigencias que debe tener el producto para la satisfacción total.

La voz del ingeniero se encuentra por encima gráficamente de las correlaciones e indican las normativas que el ingeniero establecerá con respecto al dispositivo.

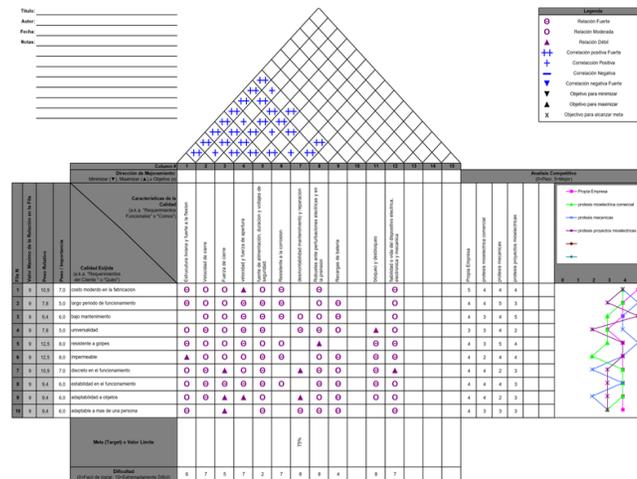
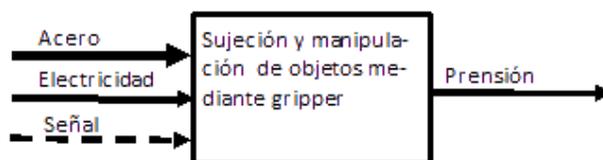


Figura 17. Casa de la calidad (anexo)

2.2 Funciones.

Es una técnica de la ingeniería concurrente (Romeva, 2002) pág. 126 que ayuda al desarrollo de proyectos que serán aplicados en la colectividad o en ayuda a personas ajenas a la rama, en general la función principal del proyecto globaliza de forma directa una acción principal que en este proyecto sería la descrita en la Figura 18



**Figura 18.** Función principal de nivel 0.

Para establecer las subsunciones se debe tomar en cuenta las operaciones que se ejecutaran entre ellos ocasionales o accidentales a más de las principales que por intuición empírica se toman en cuenta.

### 2.3 Diagrama de funciones.

Caracterizando el proyecto se procederá a dividir el modulo principal en dos partes las cuales son: la sujeción y después la manipulación por lo que establece la siguiente división: para la división de modos de operación establece lo siguientes.

#### 2.3.1 Principales

En condiciones normales de funcionamiento el sistema debe operar:

#### **Tabla 22**

*Ítems de modo de operatividad del dispositivo en condiciones normales. .*

<b>Características de operatividad</b>
Preparación y puesta en marcha del dispositivo
Sensor de estado de batería
Ubicación de los objetos
Señal del interruptor de apertura
Detección de la señal de prensión
Recolección de la señal de detención o de tope
Procesamiento de la señal de detención
Señal de bloqueo eléctrico o mecánico
Sujeción del objeto
Movimiento transversal
Retorno a la posición transversal inicial
señal de standby o espera del dispositivo
Señal de desbloqueo eléctrico o mecánico
Cerrado del Gripper

### 2.3.2 Ocasionales

Son factores que se presenta de manera no convencional pero que se van a suscitar a lo largo de la vida útil.

**Tabla 23**

*Ítems de eventos ocasionales .*

<b>Factores que se pueden suscitar en el transcurso la operación</b>
Recarga de batería
Sobrecalentamiento de motor
Mantenimiento de la estructura
Homogeneidad.

### 2.3.3 Accidentales

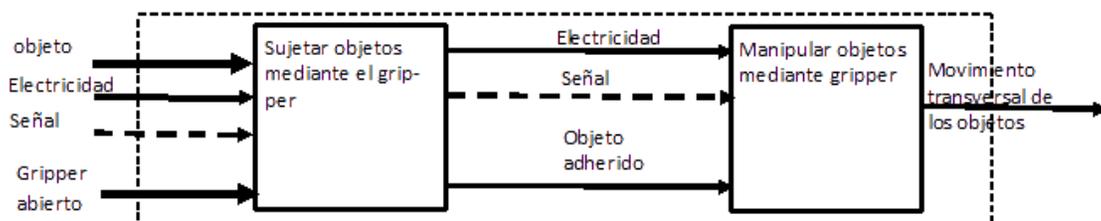
Son factores que se considera en el diseño como medida de seguridad o de precaución aumentando las prestaciones del dispositivo.

**Tabla 24**

*Eventos accidentales .*

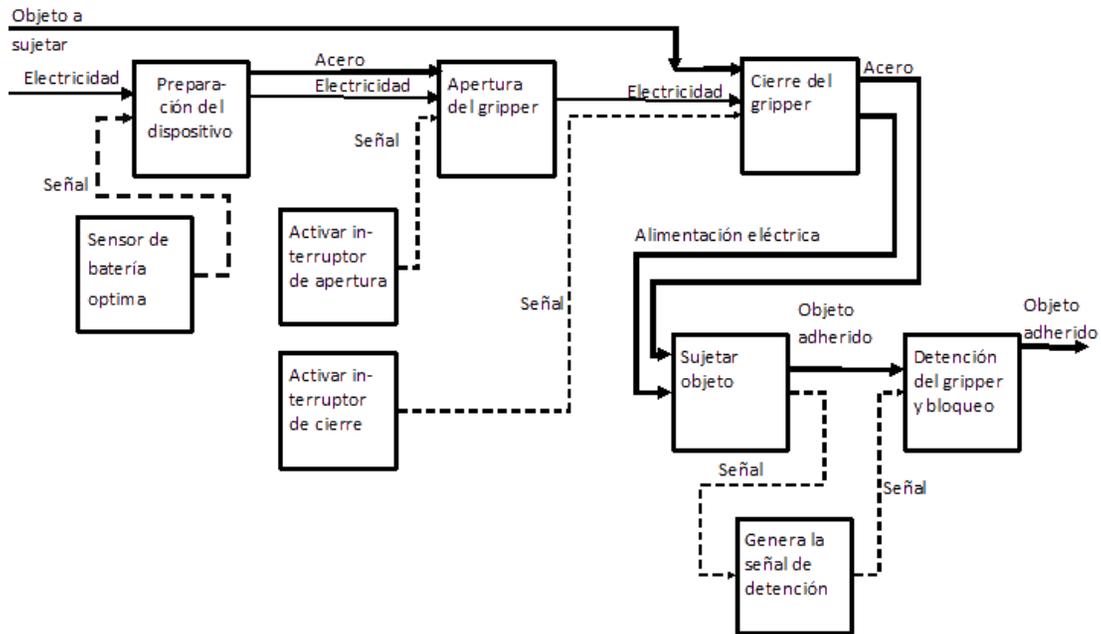
<b>Factores que se presentan de forma fortuita</b>
Filtración de líquidos
Golpes en a la estructura
Corrientes parasitas eléctricas y electromagnéticas
Corriente Estática

Tomando en cuenta los aportes anteriores la sujeción y en la manipulación de objetos se los desglosa de la siguiente manera.



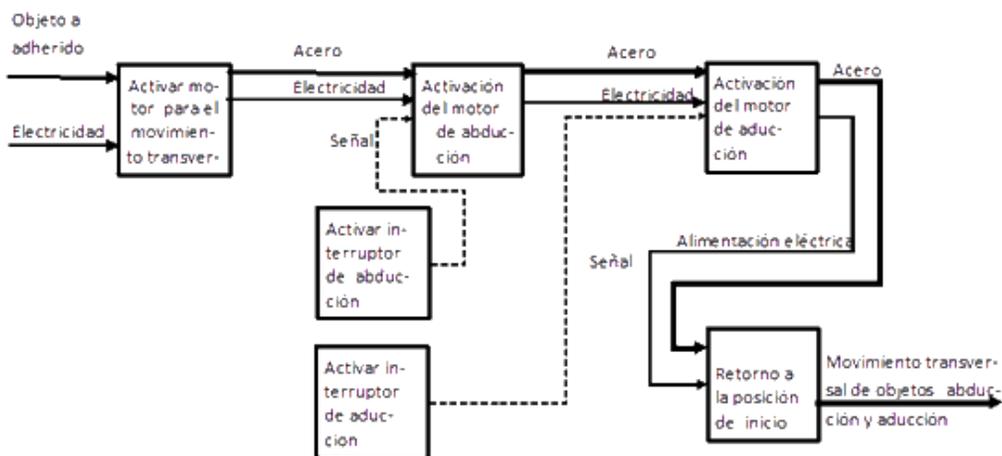
**Figura 19.** División en subfunciones (sujeción y manipulación) Nivel 1.

## La función de sujeción



**Figura 20.** Subfunciones que componen la sujeción del gripper nivel 2a.

## Función de manipulación



**Figura 21.** Subfunciones que componen la manipulación transversal del Gripper nivel 2b.

### 2.4 División modular.

Para proceder a realizar la división modular se debe establecer los criterios tanto modulo mecánico, módulo de control, módulo de eléctrica - electrónica. Como existen dos subsistemas que

se ejecutan uno a continuación de otro, pero en una misma estructura se precederá a tomar en cuenta en separar lo más relevante para después seguir a detalle así se permite no obviar pasos o elementos que pueden afectar la fabricación o funcionamiento.

En la sección 2.1 se observó la generación de una solución mediante criterio de acorde a factores más relevantes como son el peso mantenimiento universalidad y el coste de fabricación, pero no permite obtener una solución más específica que ayude con la validación exacta a la solución a continuación se opta ahondar en las características específicas esto permitirá tener una visión más clara de la solución y sus respectivos componentes de funcionamiento y control.

Las alternativas de solución que se establecieron servirán para establecer los lineamientos de los módulos, las alternativas que servirán de guía referencial son:

**Tabla 25**

*Resultado de alternativas .*

<b>Alternativas</b>
Prótesis Mioeléctrica antropomorfa materiales inteligentes
Prótesis tipo cremallera y garras con activación a interruptores
Prótesis Gripper tipo garras a interruptor
Prótesis antropomorfa a servomotores hecho con impresión 3D

### **2.4.1 Modulo mecánico**

Comprende la parte tangible del dispositivo, transmisión de movimientos sujeción de objetos, flexión y extensión de la muñeca, la estructura del dispositivo se considera como estática y no presenta movimientos.

**Tabla 26**

*Movimientos mecánicos del dispositivo.*

<b>Mecánico</b>
Apertura del Gripper
Cierre del Gripper
Flexión
Extensión

A continuación, se muestra definiciones de las características de aporte para el dispositivo para un mejor funcionamiento y evitar que se atraquen, analizando cómo se manejara un movimiento mecánico.

**Fuente de energía mecánica.** elemento que suministra un movimiento rotatorio o lineal.

**Estructura efectora final.** es la parte en que aprieta al objeto o interacciona directamente con el mismo. esto se encuentra construido bajo criterios de antropometría de la mano en este caso los dedos y su forma física.

**Transmisión.** Un motor no puede estar conectado directamente a los dedos, su velocidad y su fuerza resultan ser muy altas y débiles respectivamente por lo que se opta en aprovechar las ventajas mecánicas de engranes tornillos y eslabones.

**Movimiento transversal** este movimiento se implementa para aumentar las prestaciones del dispositivo.

**Numero de grados de libertad.** por definición el número de grados de libertad es la cantidad de articulaciones que se le da a un dispositivo.

**Tabla 27**

*Características mecánicas que conformaran el dispositivo.*

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
Material	PLA	Aluminio	Acero	PLA
Fuente de energía mecánica	Material Inteligente	servomotores	servomotores	Servomotores
Estructura efectora final	PLA	PLA	PLA	PLA
Transmisión	Hilo	Tornillo de potencia	Engranes	Hilos
Movimiento transversal	No	Pivote servomotor	Pivote servomotor	No tiene fijo
Numero de grados de libertad		Dos		

## 2.4.2 Módulo eléctrico y electrónico

**Tabla 28**

*Acciones que derivan en activación eléctrica o necesidad de la misma..*

<b>Eléctrico y electrónico</b>
Accionamiento del interruptor
Apertura y cierre motor servomotor
Accionamiento del servo motor
Accionamiento de señal de detención
Procesamiento de la señal de detención
Salida de la señal de respuesta
Interrupción de la señal del servomotor

En la construcción del dispositivo se debe tomar en cuenta la constitución electrónica debido a que ocupa una parte física del dispositivo por esta razón el diseño mecánico debe considerar los conductores, tarjetas electrónicas, sensores, conexiones entre otros.

**Tabla 29**

*Análisis eléctrico de dispositivos existentes.*

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
Conductores	Cables de hilos solidos	Cables a hilos	Cables a hilos	Cables a hilos
Conexiones	Conexión Borneras y soldaduras	Borneras	Soldadura	Soldadura
Baterías	Lipo	Fuente de energía	Baterías tipo	Fuente de alimentación
protecciones	Fusibles y diodos	Fusibles diodos	Fusibles y diodos de protección	Fusibles y diodos
Protecciones electromagnéticas	No	No	No	No
Conductor del sensor de activación	Cable con recubrimiento	Galga extensiométrica	No posee sensor	No posee sensor
Driver del motor		Puente H		Tarjeta PCA9685

## 2.4.3 Módulo de control

Está conformado por acciones que la tarjeta encontrara en el dispositivo es decir tomará acciones mediante estímulos en las entradas digitales o análogas (sensores pulsadores o interruptores además de potenciómetros) de la tarjeta de control esto provocara que tome decisiones sobre actuadores o efectores finales (motores).

**Tabla 30***Acciones que el microcontrolador poseerá*


---

Señal del interruptor
Decisión si es apertura o cierre
Activación del servo
Apagado del servo
Bloqueo eléctrico o mecánico
Activación del motor en cierre o apertura
Activación del motor de extensión y flexión de la muñeca

---

## 2.5 Matriz morfológica

### 2.5.1 Matriz de ponderaciones para el módulo mecánico

Como primera solución se lo asigna con las siguientes características aluminio en el material de construcción, servomotor para proporcionar el movimiento la estructura está conformada por PLA y aluminio, la transmisión se lo proporción engranes en la segunda solución se lo asigna con acero y aluminio en la estructura externa motor y tornillo sin fin que proporcionan el movimiento.

La tercera solución está conformada por PLA en la estructura y aluminio en secciones que sobrepasen el esfuerzo del PLA conformado por un servo motor que manipula un hilo de transmisión que genera que los dedos se muevan

Para establecer nombres a las soluciones finales se lo denominan de la siguiente manera **S1** Gripper a transmisión de engranes **S2** Gripper con transmisión a tornillo de potencia **S3** Mano antropomórfica.

Para escoger una solución en base a un criterio cuantitativo se establece parámetros de clasificación los cuales son:

**cr:** Criterio 0-1 siendo (0=nula importancia, 1=importancia validada). **pon:** Ponderación 1-10 (criterio personal desde importancia media **1** hasta importancia elevada **10**) y **tot:** total.

**Tabla 31**

*Ponderación de criterios con respecto a las soluciones establecidas .*

<b>Desde un punto de vista mecánico</b>									
	solución 1			Solución2			solución 3		
	cr	pon	Tot	cr	pon	tot	cr	Pon	tot
Compacto	0,5	3	1,5	0,5	5	2,5	0,5	6	3
Liviano	0,6	5	3	0,6	7	4,2	0,6	8	4,8
Rápido	0,4	8	3,2	0,4	7	2,8	0,4	6	2,4
Mantenible	0,6	8	4,8	0,6	7	4,2	0,6	5	3
Baratos	0,8	8	6,4	0,8	6	4,8	0,8	5	4
Silencioso	0,3	5	1,5	0,3	9	2,7	0,3	5	1,5
Reparable	0,7	6	4,2	0,7	7	4,9	0,7	5	3,5
Fiable	0,7	7	4,9	0,7	4	2,8	0,7	4	2,8
Robusto	0,8	7	5,6	0,8	8	6,4	0,8	6	4,8
Fácil activación	0,5	7	3,5	0,5	8	4	0,5	5	2,5
Fuerza de sujeción	0,7	6	4,2	0,7	7	4,9	0,7	8	5,6
Auto bloqueo mecánico	0,9	4	3,6	0,9	8	7,2	0,9	6	5,4
Promedio			3,867			4,283			3,6083

## 2.5.2 Matriz de ponderaciones para el módulo eléctrico electrónico

Se estableció dos etapas la primera se denomina de control y la segunda es la de potencia o driver de motor que activan a este para que proporcione un movimiento al sistema mecánico.

**Tabla 32**

*Selección para la activación eléctrica del motor .*

<b>Drivers de motores</b>									
	Puente H			Pololu			Puente H (transistores)		
	Cr	Pon	Tot	Cr	Pon	Tot	Cr	Pon	Tot
Consumo de corriente	0,8	3	2,4	0,8	4	3,2	0,8	5	4
Reemplazo	0,3	8	2,4	0,3	5	1,5	0,3	2	0,6
Estabilidad	0,8	4	3,2	0,8	4	3,2	0,8	4	3,2
Consumo motores	0,3	5	1,5	0,3	4	1,2	0,3	5	1,5
Costo	0,7	9	6,3	0,7	2	1,4	0,7	8	5,6
Velocidad	0,8	5	4	0,8	9	7,2	0,8	8	6,4
Versatilidad	0,9	8	7,2	0,9	7	6,3	0,9	5	4,5
Diseño	0,4	5	2	0,4	5	2	0,4	5	2
Complejidad	0,5	9	4,5	0,5	7	3,5	0,5	3	1,5
Consumo stand by	0,6	8	4,8	0,6	8	4,8	0,6	4	2,4
Robustez	0,7	7	4,9	0,7	7	4,9	0,7	9	6,3
Adquisición	0,9	9	8,1	0,9	2	1,8	0,9	9	8,1
Promedio			4,25			3,417			3,84167

### 2.5.3 Matriz de ponderaciones para el módulo de la tarjeta de control.

- Solución 1 Tarjeta control Arduino
- Solución 2 Tarjeta de control con PIC
- Solución 3 Control raspberry

**Tabla 33**

*Selección de la tarjeta de control .*

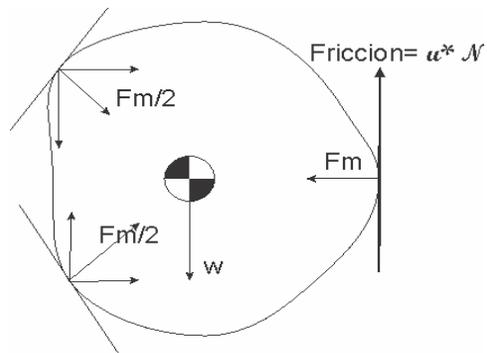
Tarjetas de control	Arduino			PIC			Raspberry		
	Cr	Pon	Tot	Cr	Pon	Tot	Cr	Pon	Tot
Estabilidad	0,8	7	5,6	0,8	3	2,4	0,8	8	6,4
Inmunidad al ruido	0,6	8	4,8	0,6	4	2,4	0,6	9	5,4
Velocidad de respuesta	0,4	9	3,6	0,4	5	2,0	0,4	8	3,2
Procesamiento	0,5	8	4,0	0,5	6	3,0	0,5	8	4,0
Almacenamiento	0,8	7	5,6	0,8	4	3,2	0,8	8	6,4
Convertidores análogo digital	0,5	8	4,0	0,5	7	3,5	0,5	8	4,0
Interoperabilidad	0,2	7	1,4	0,2	4	0,8	0,2	8	1,6
Almacenamiento	0,3	7	2,1	0,3	3	0,9	0,3	8	2,4
Efectividad	0,6	6	3,6	0,6	5	3,0	0,6	8	4,8
Adquisición	0,7	7	4,9	0,7	9	6,3	0,7	1	0,7
Precio	0,9	7	6,3	0,9	7	6,3	0,9	3	2,7
Tamaño	0,7	8	5,6	0,7	9	6,3	0,7	2	1,4
Promedio			4,3			3,3			3,6

## 2.6 Soluciones en el diseño del Gripper

### 2.6.1 Accionamiento mecánico del Gripper

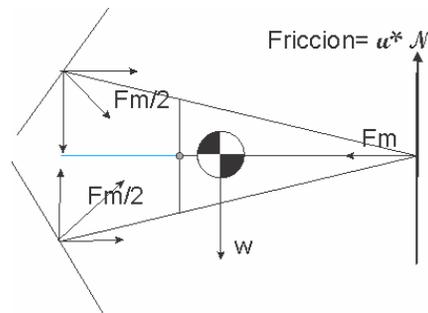
#### 2.6.1.1 Diseño de los dedos.

Un diseño establecido recomienda tener tres puntos de interés para el objeto a sujetar ( (Roa, 2008) pág. 70) basándose en los tres dedos principales los cuales son el pulgar, dedo índice y medio generando así un triángulo cuyos vértices son los puntos de contacto que el Gripper



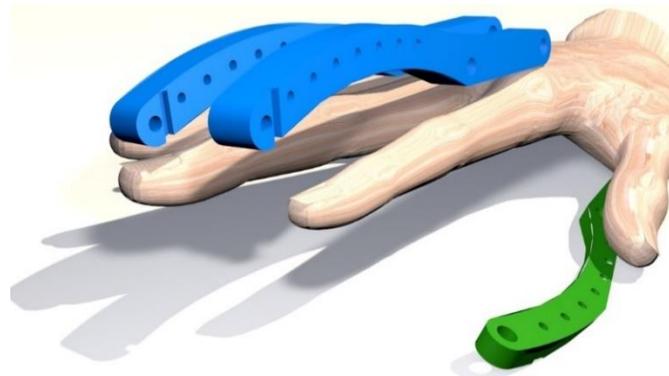
**Figura 22.** Ubicación de los puntos de sujeción en un elemento rígido.

En la **Figura 23** se presenta la analogía de los tres puntos de contacto para conocer la fuerza de presión que se establecerá al objeto.

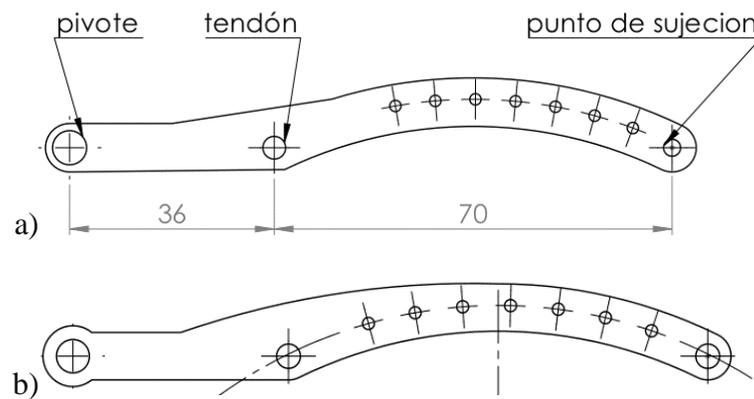


**Figura 23.** Ubicación del centro de masa y gravedad.

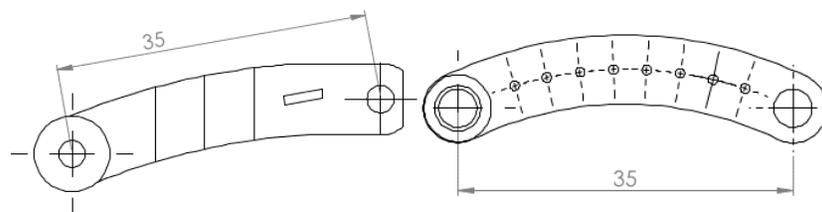
Estableciendo el dimensionamiento de los dedos hace una analogía a un tendón sujeto a cada dedo de la mano.



**Figura 24.** Eslabón con su analogía a los dedos.

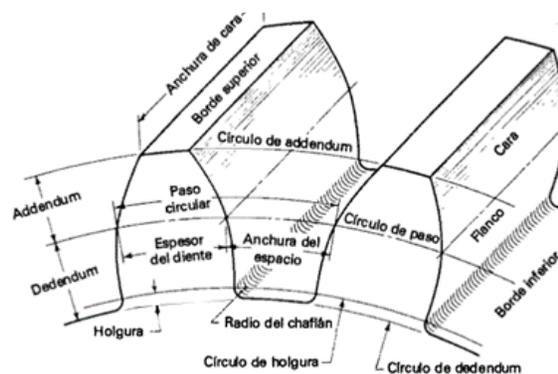


**Figura 25.** a) Forma de los dedos índice y medio, b) forma del dedo pulgar



**Figura 26** Distancia de los eslabones para los dedos índice y pulgar

### 2.6.1.2 Cálculo de engranes



**Figura 27.** Definición de términos que conforman un engrane.

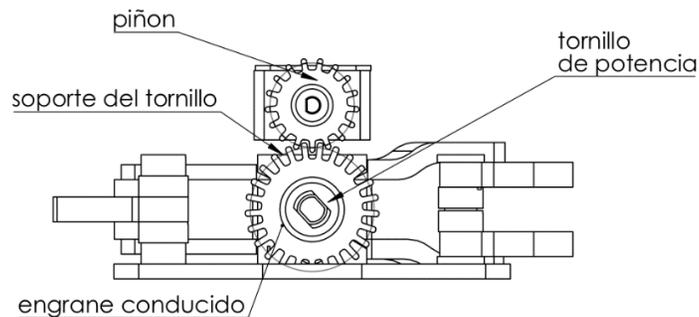
Fuente: Teoría de máquinas y mecanismos de Shigley pg. 259

Para iniciar los cálculos los engranes primero se establece la distancia para los centros que se asume de 18 mm por lo que la relación

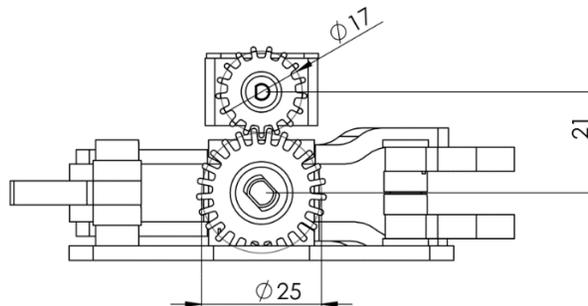
Distancia entre centros es la sumatoria de los radios primitivos los que proporcionan una distancia (Budynas & Nisbett, 2008) pag.677 además de la relación más próxima asumida es de una a dos  $2 * dp1 = dp2$  como se muestra en la *Figura 29* esto se lo hace debido a que el número de engranes debe ser enteras. siendo que el diámetro es dos veces  $rp$ : radio primitivo entonces y la relación de transmisión de dos a uno se establece:

$$rp2 = 2 * rp1$$

**Ecuación 2**  
Relacion de transmision piñón-engrane  
conducido



**Figura 28.** Descripción de la mano



**Figura 29.** Distancia entre centros  
distancia entre .centros (piñón-engrane conducido)

A continuación, el estudio de los engranes que proporcionan el movimiento al tornillo de potencia.

$$rp1 + rp2 = dc$$

$$rp1 + 2 * rp1 = dc$$

$$rp1 = \frac{dc}{3} = \frac{21}{3}$$

$$rp1 = 7 \text{ entonces } rp2 = 14$$

Resulta un diámetro primitivo.

$$dp1 = 14 \text{ entonces } dp2 = 28$$

El módulo del engrane es la relación que existe entre el diámetro primitivo y el número de dientes del engrane este se debe establecer mediante.

$$m_{\text{modulo}} = \frac{d_{\text{primitivo}}}{Z_{\#dientes}}$$

**Ecuación 3**  
Módulo de engranes

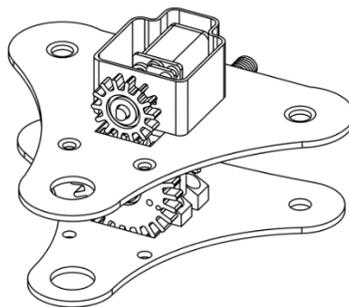
$$m = \frac{dp2}{Z_2} = \frac{dp1}{Z_1} \frac{28}{Z_2} = \frac{14}{Z_1} \text{ entonces } Z_2 = 2 * Z_1$$

Lo que se establece que:

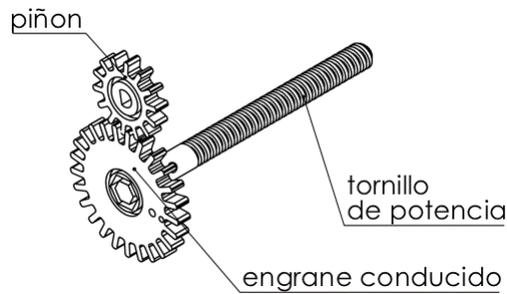
$$Z1 = 10 \text{ y } Z2 = 20$$

modulo  $m = 1,4$ .

Conclusión del boceto asimilado mediante cálculos.



**Figura 30** Sugerencia y solución del boceto



**Figura 31** Simulación de los engranes acoplados

Análisis de posiciones de los engranes.

$$\theta_{\text{piñon}} * \text{radio}_{\text{piñon}} = \text{radio}_{\text{engrane}} * \theta_{\text{engrane}}$$

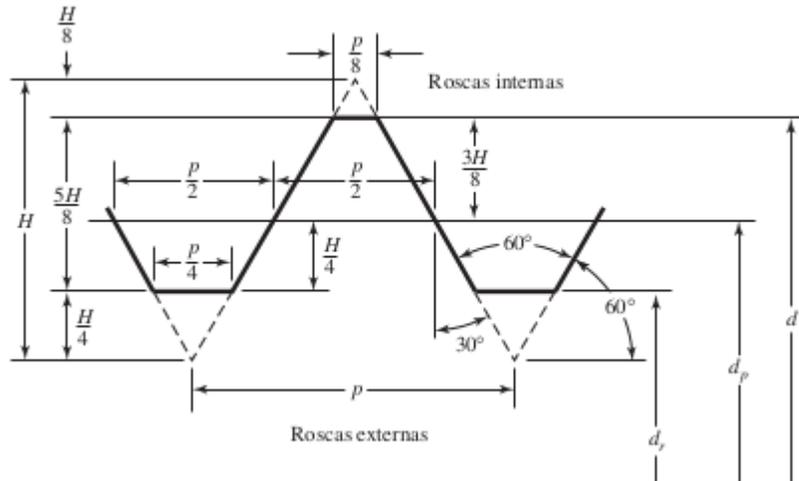
En la parte central del engrane conducido se encuentra el tornillo de potencia.

$$\theta_{\text{piñon}} \frac{\text{radio}_{\text{piñon}}}{\text{radio}_{\text{engrane}}} = \theta_{\text{engrane}}$$

$$\theta_{\text{engrane}} = \theta_{\text{tornillo}} = \theta_{\text{piñon}} \frac{\text{radio}_{\text{piñon}}}{\text{radio}_{\text{engrane}}}$$

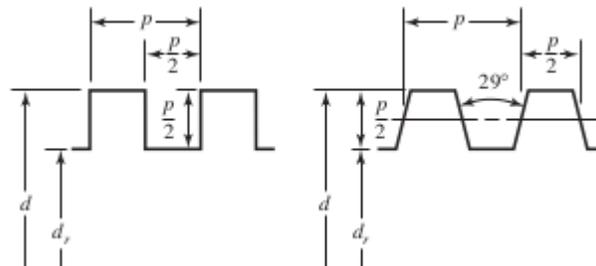
### 2.6.1.3 Diseño del tornillo de potencia.

En el estudio de los tipos de accionamiento que se establecieron, el tornillo de potencia posee características singulares el desplazamiento lineal, depende del paso y de las revoluciones del mismo por lo tanto el desplazamiento lineal solo ocurrirá si existe desplazamiento rotatorio por lo que se genera un bloqueo mecánico necesario para el Gripper y además proporcionando una ventaja mecánica en función del paso y del ángulo, los principales componentes de a un tornillo métrico son.



**Figura 32** Tornillos metricos

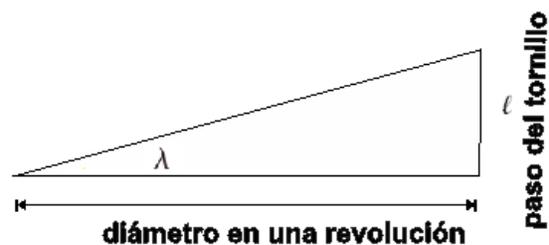
Fuente: (Shigley & Uicker, 2001)



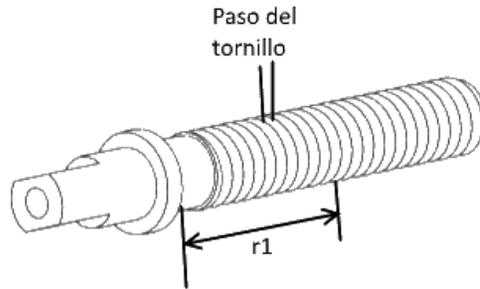
**Figura 33** Tornillos Acmé

Fuente: (Shigley & Uicker, 2001)

La selección de la forma del tornillo se establece el de piramidal por su facilidad en la fabricación de acuerdo con recomendaciones por lo que no se realizará cálculos o establecerá alguna ponderación en la selección del tipo del tornillo a continuación se presenta los cálculos establecidos para la fabricación:



**Figura 34** Designación del ángulo entre el paso y el diámetro en una revolución



**Figura 35.** Tornillo sin fin.

$$L = r1(\text{minima}) + \theta_{\text{tornillo}} * \frac{l(\text{paso})}{2\pi}$$

Los cálculos dinámicos se los basa en Diseño de elementos de Shigley. Se establece las siguientes ecuaciones para poder subir una carga según la fórmula  $F$  = fuerza axial que actúa en el tornillo  $d_{mp}$  = diámetro medio  $l$  = paso de rosca que posee el tornillo con  $u$  = coeficiente de fricción.

$$P_r = \frac{F \left( \frac{l}{\pi d_m} + u \right)}{1 - \left( u * \frac{l}{\pi d_m} \right)} \text{ y } P_l = \frac{F \left( u - \left( \frac{l}{\pi d_m} \right) \right)}{1 + \left( \frac{u * l}{\pi d_m} \right)}$$

**Ecuación 4**

Fuerza para poder subir y bajar una carga respectivamente

$$T_r = \frac{F * d_m (l + u * \pi d_m)}{2(\pi d_m - u * l)} \text{ y } T_l = \frac{F * d_m (u * \pi d_m - l)}{2 * (\pi d_m + u * l)}$$

**Ecuación 5**

Torque para poder subir y bajar una carga respectivamente

**Tabla 34**

Valores que determinan la carga del tornillo.

L	1	mm			
U	0,1	mm			
d_m	6,5	mm			
Fuerza axial	1	N			
	0,14970386			0,05078058	
Pr	0,14970386	N	PI	0,05078058	N
Tr	0,48653754	N	TI	0,16503688	N

Las condiciones para la mejor selección del tornillo de potencia son

$$u * \pi d_m > l$$

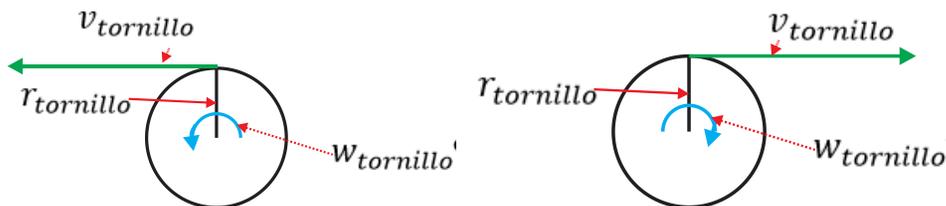
### Ecuación 6

Condición para la selección de un tornillo

Al establecer la relación de transmisión del servomotor hacia el tornillo es la relación del piñón con respecto al engrane conducido es de 1:2

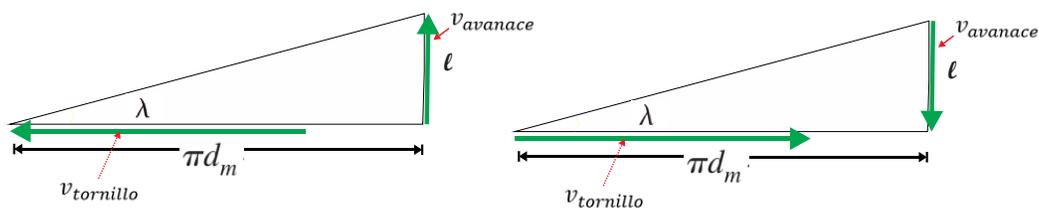
#### 2.6.1.4 Velocidad lineal y de avance.

La velocidad lineal que proporciona un tornillo de potencia donde de factores de construcción y de la velocidad de giro del mismo al analizar el giro del tornillo se puede representar como un círculo girando con respecto a su punto central. Al observar el giro y por definición de la velocidad lineal en la parte extrema del tornillo o en una circunferencia se dice que  $v_{\text{tornillo}} = \omega_{\text{tornillo}} * r_{\text{tornillo}}$ .

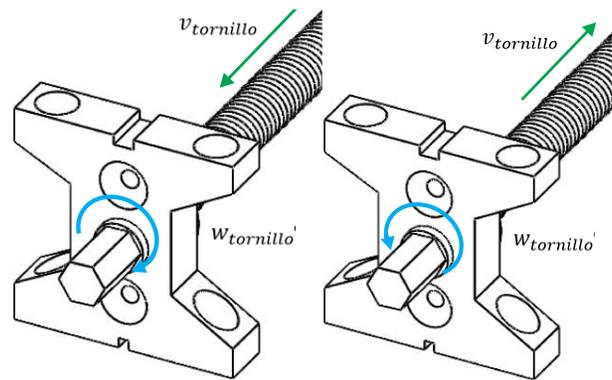


**Figura 36.** Representación gráfica velocidad angular y lineal.

En la figura anterior se puede deducir que el giro es del cilindro del tornillo como se dedujo anteriormente en la base del triángulo se posicionara la velocidad lineal de la circunferencia al analizar un punto cualquiera de la hipotenusa se genera una velocidad de avance o de retracción según el sentido de la velocidad de tornillo.



**Figura 37.** Velocidades de avance y retracción.



**Figura 38.** Giro del tornillo y sentido de la velocidad.

Sabiendo que.

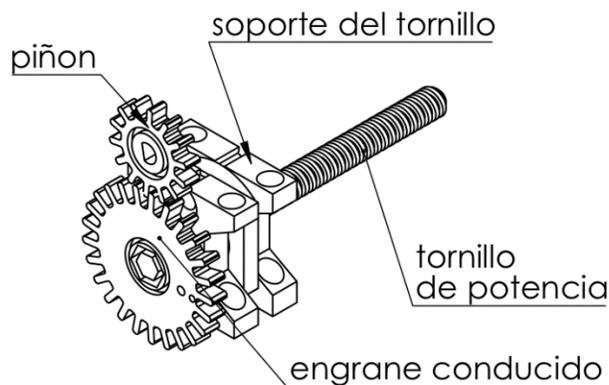
$$L = r1_{mn} + \theta_{tornillo} * \frac{l(paso)}{rev} = r1_{mn} + \theta_{piñon} \frac{radio_{piñon}}{radio_{engrane}} * \frac{l(paso)}{rev}$$

**Ecuación 7**  
Longitud total del  
eslabón

*L: longitud total del eslabon 1*

*r1<sub>mn</sub>: distancia inicial para el calculo*

*θ<sub>piñon</sub>: numero de vueltas del tornillo de potencia*



**Figura 39** Descripción sistema de tornillo de potencia engrane

Formula de la velocidad lineal en función de la velocidad angular del piñón o del motor esto se deduce al derivar la fórmula de la posición  $L$  conociendo que

$r_{1mn}$ ,  $radio_{piñon}$ ,  $radio_{engrane}$  y  $l(paso)$  son constantes y que  $\frac{d(\theta_{piñon})}{dt} = w_{motor}$

$$\frac{d(L)}{dt} = \frac{d(r_{1mn})}{dt} + \frac{d\left(\theta_{piñon} \frac{radio_{piñon}}{radio_{engrane}} * \frac{l(paso)}{rev}\right)}{dt}$$

$$v_l = w_{motor} \frac{radio_{piñon}}{radio_{engrane}} * \frac{l(paso)}{2 * \pi}$$

**Ecuación 8**  
Velocidad lineal en función de la velocidad angular del piñón

**Tabla 35**

*calculo para la velocidad de avance lineal*

Descripción	Valor	Unidades
W(motor)	320	rpm
radio(piñon)	14	mm
radio(engrane)	28	mm
paso tornillo	1	mm
V avance	25,4647638	mm/seg

La aceleración lineal depende de la velocidad angular inicial desde el reposo hasta la velocidad nominal si se derriba la fórmula de  $v_l$  en un tiempo.

$$\frac{dv_t}{dt} = \frac{d\left(w_{motor} \frac{radio_{piñon}}{radio_{engrane}} * \frac{l(paso)}{2 * \pi}\right)}{dt}$$

$$a^t = \alpha_{motor} \frac{radio_{piñon}}{radio_{engrane}} * \frac{l(paso)}{2 * \pi}$$

$$\alpha_{motor} = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{w_{final} - w_{inicial}}{t_f - t_0}$$

**Ecuación 9**  
Aceleración lineal en función de la aceleración angular del piñón

**Tabla 36**  
*Determinación de la aceleración del tornillo de potencia .*

Descripción	Valor	unidades
w(motor)	320	rpm
tiempo	0,1	según
aceleración (motor)	53,3333333	rev/seg <sup>2</sup>
radio(piñón)	15	mm
radio(engrane)	25	mm
paso tornillo	1	mm
aceleración avance	5,09	mm/seg <sup>2</sup>

### 2.6.1.5 Mecanismo de cuatro barra

Aplicando el criterio de Grashoft para cuatro barras en la que establece que la sumatoria de los eslabones de longitud mayor y menor no pueden ser mayores que los restantes (Shigley & Uicker, 2001) Pág. 18.

La distancia mayor de los cuatro eslabones será la distancia del tendón mientras que la distancia menor será la distancia del origen de referencia del mecanismo hasta la unión con el tendón. Los eslabones restantes se consideran al primero con el pivote respecto al origen y el segundo desde el inicio del pivote hasta la unión del tendón.

Si se cumple esta ley el mecanismo puede moverse y proceder a analizarlos

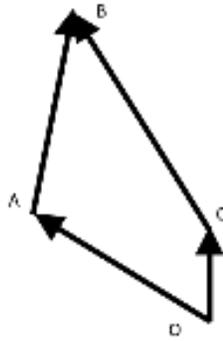
$$s + l \leq p + q$$

**Ecuación 10.**  
Criterio de Grashoft

La movilidad proporciona una visión de los grados de libertad que posee un mecanismo siendo la fórmula de movilidad.

$$M = 3(n - 1) - 2f_1 - f_2 \{Formula de Gruebler. Criterio de Kutzbach\}.$$

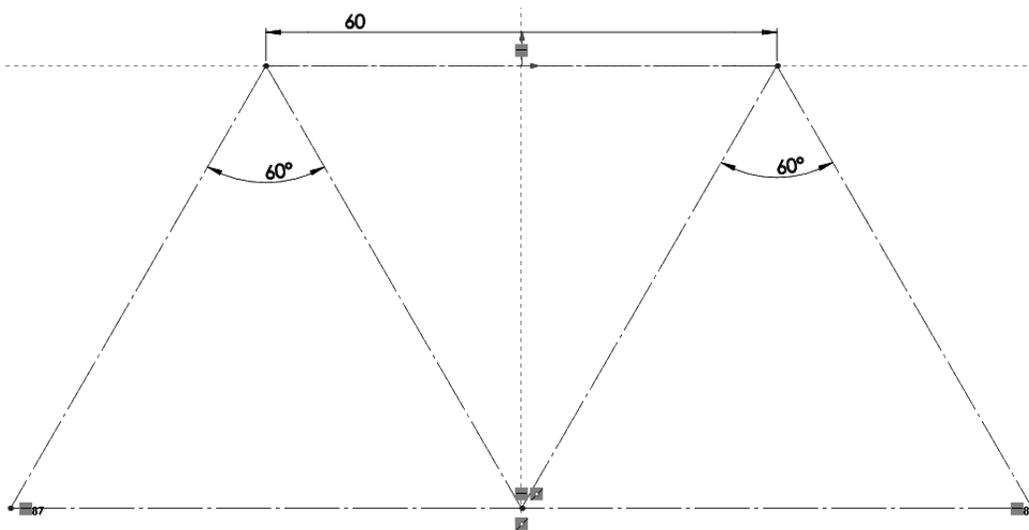
$$M = 3(5 - 1) - 2(5) - 0. = 2 \text{ grados de libertad}$$



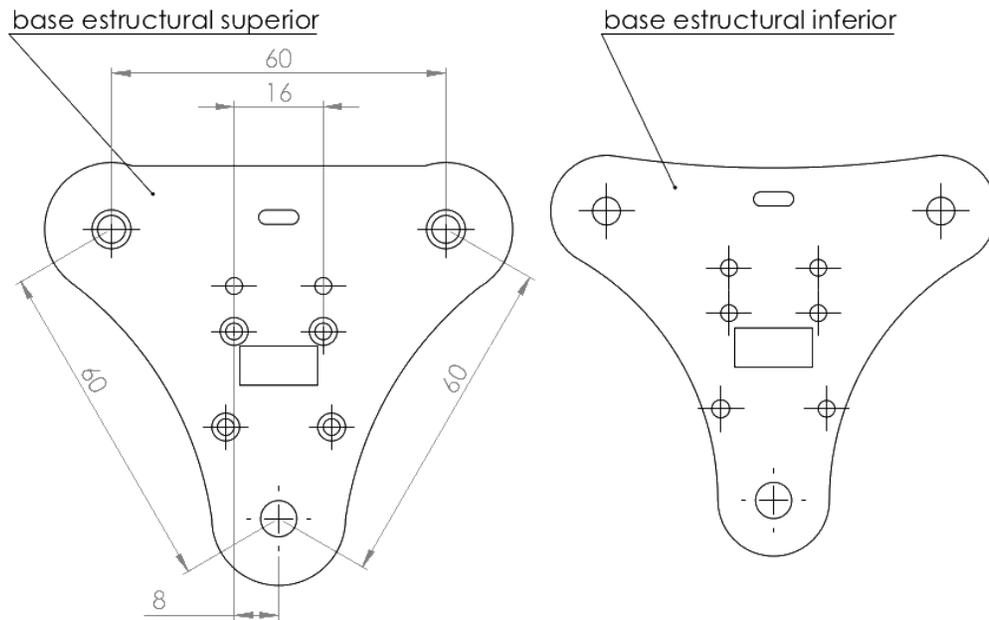
**Figura 40.** Eslabones del circuito del Gripper.

Siendo la parte OA eslabón fijo, el segmento OC pertenece al tornillo de potencia el cual es de un grado de libertad su ángulo es fijo pero su dimensión depende del giro del mismo los segmentos restantes poseen dimensiones constantes, pero con ángulo variable aplicando algebra compleja. Para establecer la cadena cinemática se procede a poner una referencia en la bancada la cual posee una distancia entre los pivotes de los dedos que se referencia a la distancia final de los huesos de los metacarpianos con respecto a la muñeca de los dedos índice y pulgar.

La forma de la mano no es simétrica, pero se lo considerara para el diseño.



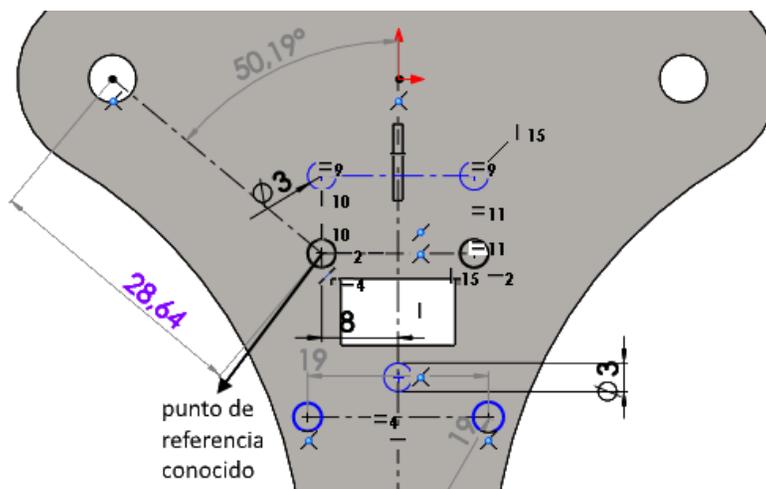
**Figura 41.** Base triangula para la construccion



**Figura 42.** Base de la mano gripper  
Diseño final de la estructura.

A continuación, se establecerá el punto de referencia para poder realizar el estudio cinemático de cuatro barras:

Dependiendo del diámetro exterior del tornillo de potencia se realiza la estimación de los eslabones  $r_2$  y  $r_1$  trazando una recta entre el punto medio de la altura con el pivote del dedo se establece



**Figura 43** Punto de referencia conocido

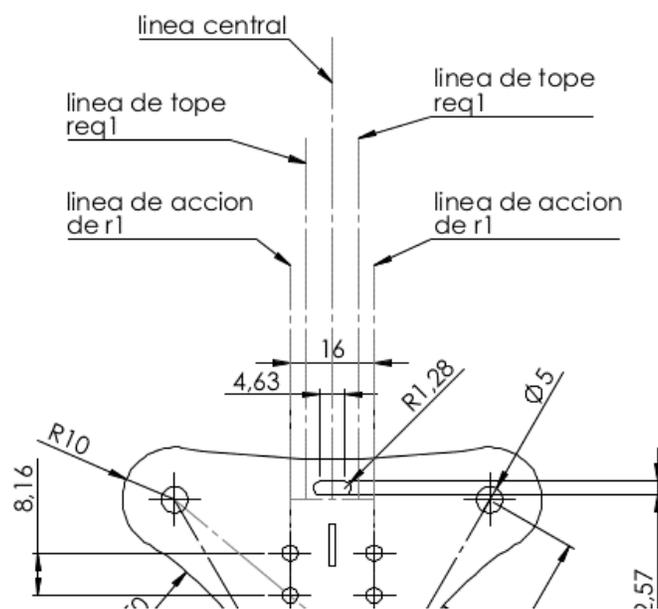
El ángulo que se forma está dado por la tangente de la mitad de la base del triángulo y la distancia de la base al centro geométrico de la bancada

$$\tan^{-1}\left(\frac{30}{25}\right) = 50.194428^\circ$$

Lo que asigna a la barra dos una distancia de  $r2 = 28.64 \text{ mm}$  con un ángulo de  $\theta2 = 50.194428$

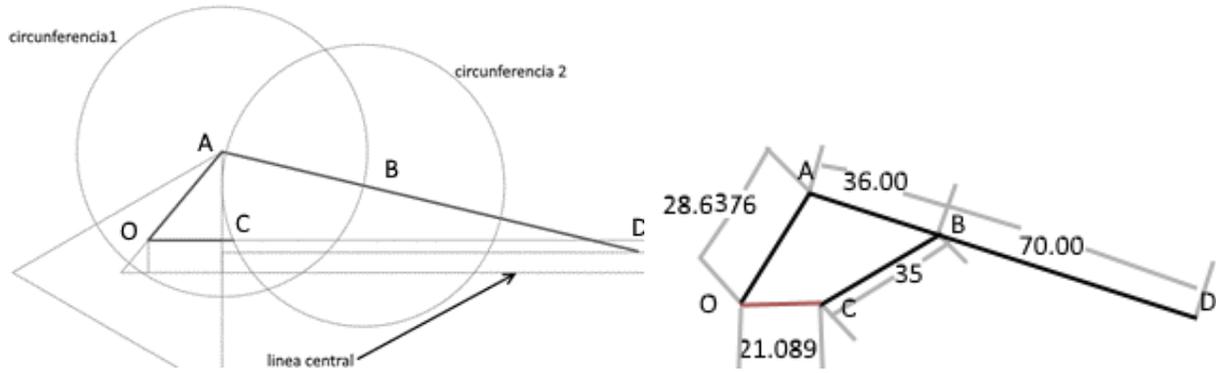
### 2.6.1.6 Determinación del eslabón r1

La distancia mínima de r1 se establece como resultante geométrica al establecer que el punto de interés del eslabón req1 es el final y se encuentra a 5 mm de la línea central



**Figura 44.** Líneas de referencia.

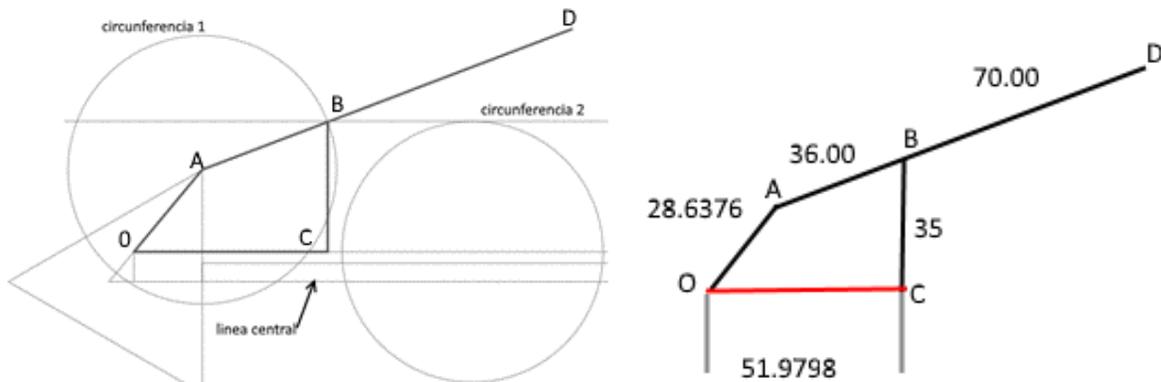
Como la distancia de los eslabones r3 y r4 ya establecidos se toma como radios para las circunferencias imaginaria que ayudaran a establecer las dimensiones de r1



**Figura 45.** Dimensión mínima de R1.

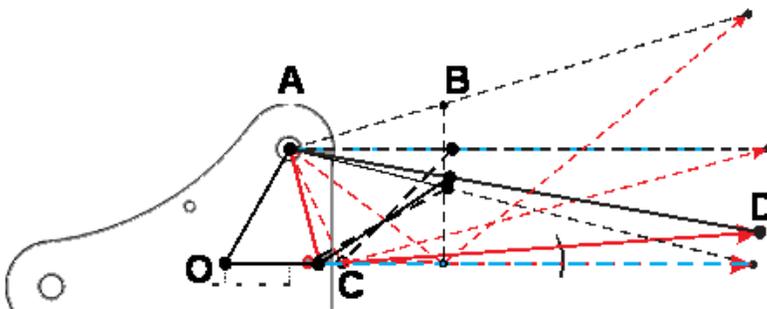
$$r1(\text{minima}) = 21.089 \text{ [mm]}$$

Par la distancia máxima de r1 se establece que el eslabón r4 quedara en perpendicularidad con la línea de acción de r1



**Figura 46.** Dimension de r1.

$$r1(\text{maxima}) = 51.9798 \text{ [mm]}$$



**Figura 47.** Resultado final.

Para facilidad del cálculo se procede a establecer los eslabones que conformarán la ecuación de cierre.

$$CO = r1 = 21.081 \text{ hasta } 51.9798[\text{mm}], \theta1 = 0^\circ$$

$$AO = r2 = 28,64 [\text{mm}] \theta2 = 60^\circ$$

$$BA = r3 = 35 [\text{mm}] \theta3$$

$$BC = r4 = 36 [\text{mm}] \theta4 = ?$$

La extensión en la que se encuentra el punto de interés que sujetará a los objetos de presión será establecida como r5 a partir de la unión del tendón con el dedo

$$r5 = 70 [\text{mm}] (\text{Barra extension del Acoplador}),$$

$$req1 = r3 + r5 = 106 [\text{mm}] (\text{Barra total del Acoplador}),$$

Se procede a establecer la ecuación de cierre.

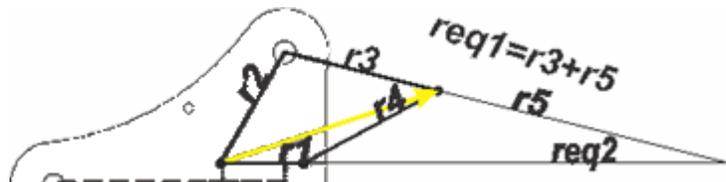


Figura 48. Diagrama cinemático.

$$AC = \sqrt{r2^2 + r1^2 - 2 * r1 * r2 * \cos \theta2}$$

$$AC = \sqrt{r3^2 + r4^2 - 2 * r4 * r3 * \cos \beta}$$

$$\cos \beta = \frac{r3^2 + r4^2 - AC^2}{2 * r4 * r3}$$

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{r_3^2 + r_4^2 - AC^2}{2 * r_4 * r_3} \right)$$

**Ecuación 11.**  
Ecuación de cierre.

Por definición de ángulos complementarios se dará en

$$r_2 + r_3 = r_1 + r_4 \leftrightarrow \text{Ecuación de Cierre primario del Circuito.}$$

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4}; r = r e^{i\theta_n} \leftrightarrow \text{Ecuación de Euler.}$$

$$e^{i\theta_n} = \cos \theta_n + i \sin \theta_n.$$

**Ecuación 12.**  
Ecuación de Euler

$$r_2(\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_3(\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) = r_1 + r_4(\cos \theta_4 + i \sin \theta_4)$$

$$r_2 \cos \theta_2 + i * r_2 \sin \theta_2 + r_3 * \cos \theta_3 + i * r_3 * \sin \theta_3 = r_1 + r_4 \cos \theta_4 + i * r_4 \sin \theta_4$$

A partir de esta ecuación se forma el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas las cuales son  $\theta_3$  y  $\theta_4$  al saber que  $r_1$  dependerá de la posición del tornillo de potencia

$$r_3 \cos \theta_3 = r_1 + r_4 \cos \theta_4 \rightarrow \text{(Real. 1)}$$

$$r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 = r_4 \sin \theta_4 \rightarrow \text{(Imag. 2)}$$

Estas se elevarán al cuadrado para luego sumar para cancelar el ángulo

$$\theta_3 = 2 * \tan^{-1} \left\{ \frac{(-r_2 * \sin(\theta_2) + r_4 \sin(\beta))}{r_1 + r_3 - r_2 \cos(\theta_2) - r_4 \cos(\beta)} \right\}$$

**Ecuación 13**

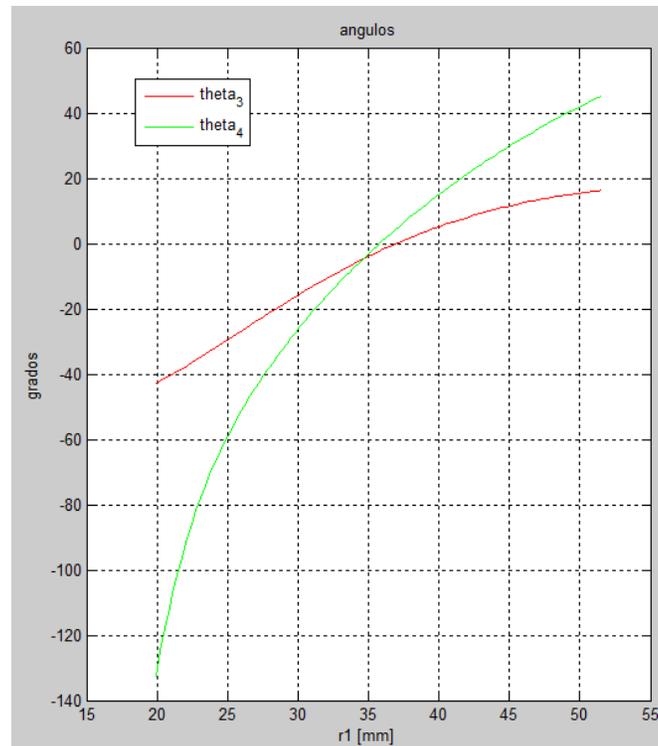
$\theta_3$  en función de las posiciones y ángulos

$$\theta_4 = 2 * \tan^{-1} \left\{ \frac{(r_2 * \sin(\theta_2) + r_3 \sin(\beta))}{r_2 \cos(\theta_2) + r_4 - r_1 - r_3 \cos(\beta)} \right\}$$

**Ecuación 14**

$\theta_4$  en función de las posiciones y ángulos

A continuación, se muestra el comportamiento de los ángulos en función de la distancia recorrida por el eslabón 1



**Figura 49.** Ángulos en función de la posición del eslabón 1.

En la **Figura 49** se aprecia el comportamiento de los ángulos theta tres y theta cuatro que parten de ángulos negativos hasta ángulos positivos debido a las referencias en las líneas de construcción y en función de la posición que toma el eslabón r1

### 2.6.1.7 Cálculo de velocidades

$$r_2 + r_3 = r_1 + r_4.$$

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4}$$

$$\frac{d(r * e^{i\theta})}{dt} = r \frac{d(e^{i\theta})}{dt} + e^{i\theta} \frac{d(r)}{dt}$$

Sabiendo que las dimensiones de los eslabones  $r_2, r_3, r_4$  son constantes no existe movimiento lineal a excepción de  $r_1$  que dependerá de la de las revoluciones y el paso del tornillo de potencia.

$$\frac{d(r_2 e^{i\theta_2})}{dt} + \frac{d(r_3 e^{i\theta_3})}{dt} = \frac{d(r_1 e^{i\theta_1})}{dt} + \frac{d(r_4 e^{i\theta_4})}{dt}.$$

$$r_2 \frac{de^{i\theta_2}}{dt} + r_3 \frac{de^{i\theta_3}}{dt} = e^{i\theta_1} \frac{dr_1}{dt} + r_4 \frac{de^{i\theta_4}}{dt}$$

$$ir_3 w_3 e^{i\theta_3} = e^{i\theta_1} v_1 + r_4 w_4 e^{i\theta_4}$$

**Ecuación 15**  
Ecuación de Euler derivada para las  
velocidades

$$ir_3 w_3 (\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) = v_1 * (\cos \theta_1 + i \sin \theta_1) + ir_4 w_4 (\cos \theta_4 + i \sin \theta_4).$$

$$ir_3 w_3 \cos \theta_3 - r_3 w_3 \sin \theta_3 = v_1 + ir_4 w_4 \cos \theta_4 - r_4 w_4 \sin \theta_4.$$

$$-r_3 w_3 \sin \theta_3 = v_1 - r_4 w_4 \sin \theta_4 \rightarrow (\mathbf{Real. 1}).$$

$$r_3 w_3 \cos \theta_3 = r_4 w_4 \cos \theta_4 \rightarrow (\mathbf{Imag. 2}).$$

$$r_3 w_3 \sin \theta_3 = r_4 w_4 \sin \theta_4 - v_1.$$

**Ecuación 16.**  
Real velocidad

$$r_3 w_3 \cos \theta_3 = r_4 w_4 \cos \theta_4.$$

**Ecuación 17**  
Imaginos velocidad

$$w_4(\theta_3) = \frac{r_3 w_3 \cos \theta_3}{r_4 \cos \theta_4}.$$

**Ecuación 18**  
Velocidad angular

Remplaza **Ecuación 18** en **Ecuación 16**

$$r_3 w_3 \sin \theta_3 = r_4 \left( \frac{r_3 w_3 \cos \theta_3}{r_4 \cos \theta_4} \right) \sin \theta_4 - v_1.$$

$$r_3 w_3 \sin \theta_3 = r_3 w_3 \cos \theta_3 * \tan(\theta_4) - v_1.$$

$$w_3 = \frac{v_1}{r_3 ((\cos \theta_3 * \tan(\theta_4) - \sin \theta_3))}.$$

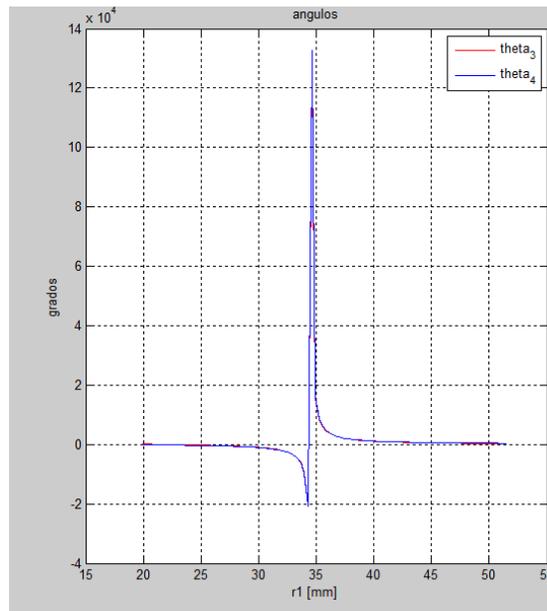
$$\text{en (3). } w_4(\theta_2) = \frac{\left( \frac{v_1}{((\cos \theta_3 * \tan(\theta_4) - \sin \theta_3))} \right) * \cos \theta_3}{r_4 \cos \theta_4}.$$

$$w_4(\theta_2) = \frac{v_1 * \cos\theta_3}{r_4 \cos\theta_4 * (\cos\theta_3 * \tan(\theta_4) - \sin\theta_3)}$$

$$w_4 = \frac{v_1 * \cos\theta_3}{(r_4 * (\sin\theta_4 * \cos\theta_3 - \cos\theta_4 * \sin\theta_3))}$$

$$w_4 = v_1 * \frac{\cos\theta_3}{r_4 * \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

**Ecuación 19.**  
Velocidad angular en función de la velocidad



**Figura 50.** Comportamiento de las velocidades angulares según la posición de r1.

El movimiento de interés que se transmite desde el cambio longitud de r1 n su línea de acción hasta el punto de interés final en los dedos y está basado en el comportamiento de las velocidades angulares  $w_3$  y  $w_4$  generando velocidades de  $v_3$  y  $v_4$

### 2.6.1.8 Cálculo de aceleraciones

Determinando la aceleración suministrado por el tornillo

$$r_2 + r_3 = r_1 + r_4.$$

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4}.$$

$$\frac{d(r_2 e^{i\theta_2})}{dt} + \frac{d(r_3 e^{i\theta_3})}{dt} = \frac{d(r_1 e^{i\theta_1})}{dt} + \frac{d(r_4 e^{i\theta_4})}{dt}.$$

$$r_2 \frac{de^{i\theta_2}}{dt} + r_3 \frac{de^{i\theta_3}}{dt} = e^{i\theta_1} \frac{dr_1}{dt} + r_4 \frac{de^{i\theta_4}}{dt}$$

$$r_3(iw_3 e^{i\theta_3}) = v_1 + r_4(iw_4 e^{i\theta_4}).$$

$$ir_3 w_3 e^{i\theta_3} = v_1 + ir_4 w_4 e^{i\theta_4}.$$

$$\frac{ir_3 d(w_3 e^{i\theta_3})}{dt} = \frac{d(v_1)}{dt} + \frac{ir_4 d(w_4 e^{i\theta_4})}{dt}.$$

$$ir_3 \left[ \frac{w_3 d(e^{i\theta_3})}{dt} + \frac{e^{i\theta_3} dw_3}{dt} \right] = \alpha^t + ir_4 \left[ \frac{w_4 d(e^{i\theta_4})}{dt} + \frac{e^{i\theta_4} dw_4}{dt} \right]$$

Siendo que  $\alpha^t$  sea la aceleración que actúa en la línea de acción de  $r_1$  y está en función de la aceleración angular que proporciona el motor

$$ir_3 e^{i\theta_3} [iw_3^2 + \alpha_3] = \alpha^t + ir_4 [iw_4^2 + \alpha_4] e^{i\theta_4}$$

$$r_3 [-w_3^2 + i\alpha_3] (\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) = \alpha^t + r_4 [-w_4^2 + i\alpha_4] (\cos \theta_4 + i \sin \theta_4)$$

$$r_3 [-w_3^2 * \cos \theta_3 + i\alpha_3 * \cos \theta_3] + r_3 [-w_3^2 * i \sin \theta_3 - \alpha_3 * \sin \theta_3]$$

$$= \alpha^t + r_4 [-w_4^2 * \cos \theta_4 + i\alpha_4 * \cos \theta_4] + r_4 [-w_4^2 * i \sin \theta_4 - \alpha_4 \sin \theta_4]$$

$$-r_3 w_3^2 * \cos \theta_3 - r_3 \alpha_3 * \sin \theta_3 + ir_3 \alpha_3 * \cos \theta_3 - r_3 w_3^2 * i \sin \theta_3$$

$$= \alpha^t - r_4 w_4^2 \cos \theta_4 - r_4 \alpha_4 \sin \theta_4 + ir_4 \alpha_4 \cos \theta_4 - r_4 w_4^2 i \sin \theta_4$$

Se establece un sistema de ecuaciones.

$$r_3 w_3^2 * \cos \theta_3 + r_3 \alpha_3 * \sin \theta_3 = r_4 w_4^2 \cos \theta_4 + r_4 \alpha_4 \sin \theta_4 - \alpha^t$$

**Ecuación 20**  
Aceleración con números reales

$$r_3 \alpha_3 * \cos \theta_3 - r_3 w_3^2 \sin \theta_3 = r_4 \alpha_4 \cos \theta_4 - r_4 w_4^2 \sin \theta_4$$

**Ecuación 21**  
Aceleración con números imaginarios

De la **Ecuación 21** despejo  $\alpha_4$

$$\alpha_4 = \frac{r_3 \alpha_3 \cos \theta_3 - r_3 w_3^2 \sin \theta_3 + r_4 w_4^2 \sin \theta_4}{r_4 \cos \theta_4}$$

**Ecuación 22**  
Despeje de  $\alpha_4$

De la **Ecuación 22** se reemplaza en la **Ecuación 20**

$$r_3 w_3^2 \cos \theta_3 + r_3 \alpha_3 \sin \theta_3$$

$$= r_4 w_4^2 \cos \theta_4 + r_4 \left( \frac{r_3 \alpha_3 \cos \theta_3 - r_3 w_3^2 \sin \theta_3 + r_4 w_4^2 \sin \theta_4}{r_4 \cos \theta_4} \right) \sin \theta_4 - \alpha^t$$

$$r_3 \alpha_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - r_3 \alpha_3 \cos \theta_3 \sin \theta_4$$

$$= r_4 w_4^2 \cos \theta_4 \cos \theta_4 + r_4 w_4^2 \sin \theta_4 \sin \theta_4 - (r_3 w_3^2 \sin \theta_3 \sin \theta_4 + r_3 w_3^2 \cos \theta_3 \cos \theta_4) - \alpha^t \cos \theta_4$$

$$r_3 \alpha_3 (\sin \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \theta_3 \sin \theta_4)$$

$$= r_4 w_4^2 - r_3 w_3^2 (\cos \theta_3 \cos \theta_4 + \sin \theta_3 \sin \theta_4) - \alpha^t \cos \theta_4$$

$$\alpha_3 = \frac{r_4 w_4^2 - r_3 w_3^2 (\cos \theta_3 \cos \theta_4 + \sin \theta_3 \sin \theta_4) - \alpha^t \cos \theta_4}{r_3 (\sin \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \theta_3 \sin \theta_4)}$$

$$\alpha_3 = \frac{r_4 w_4^2 - r_3 w_3^2 (\cos(\theta_3 - \theta_4)) - \alpha^t \cos \theta_4}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

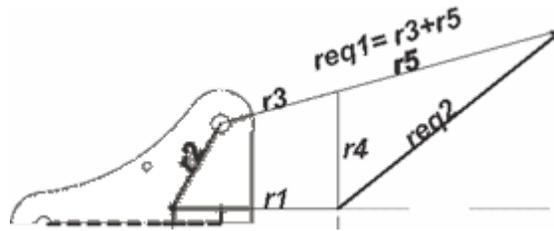
**Ecuación 23**  
Aceleración eslabón  
r3

$$\alpha_4 = \frac{w_4^2 \cos \theta_3}{\sin(\theta_3 - \theta_4) \cos \theta_4} - \frac{r_3 \cos \theta_3 w_3^2 (\cos(\theta_3 - \theta_4))}{\sin(\theta_3 - \theta_4) * r_4 \cos \theta_4} - \frac{\alpha^t \cos \theta_4 \cos \theta_3}{\sin(\theta_3 - \theta_4) * r_4 \cos \theta_4} - \frac{r_3 w_3^2 \sin \theta_3}{r_4 \cos \theta_4} + \frac{w_4^2 \sin \theta_4}{\cos \theta_4}$$

**Ecuación 24**  
Aceleración eslabón  
r4

### 2.6.1.9 Análisis cinético con el punto de interés

Para establecer el punto de interés se denota el siguiente circuito



**Figura 51.** Diagrama de cierre de circuito

$$r2 + req1 = r1 + req2 \leftrightarrow \text{Ecuacion de Cierre conducido}$$

$$r2e^{i\theta2} + req1 * e^{i\theta_{req1}} = r1 * e^{i\theta1} + req2 * e^{i\theta_{req2}} \leftrightarrow e^{i\theta n} = \cos \theta n + i \sin \theta n.$$

$$r2(\cos \theta 2 + i \sin \theta 2) + req1(\cos \theta_{req1} + i \sin \theta_{req1}) = r1 + req2(\cos \theta_{req2} + i \sin \theta_{req2})$$

**Ecuación 25**  
Ecuación de cierre conducido

A partir de la Ecuación 25 se forma el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas las cuales son  $req2$  y  $\theta_{req2}$  teniendo el conocimiento que  $\theta_{req1} = \theta 3$

Tomando en cuenta que la magnitud de  $req2$  sea

$$CD = req2 = \sqrt{r5^2 + r4^2 - 2(r5 * r4) * \cos(180^\circ - \beta)}$$

$$r2 \cos \theta 2 + req1 \cos \theta_{req1} = r1 + req2 \cos \theta_{req2} \rightarrow (\text{Real. 1})$$

reacomodando la ecuación de los reales

$$\frac{r2 \cos \theta 2 + req1 \cos \theta_{req1} - r1}{\cos \theta_{req2}} = req2$$

**Ecuación 26**  
Primera ecuación del eslabón imaginario  $req2$

$$\frac{r2 \sin \theta 2 + req1 \sin \theta_{req1}}{\sin \theta_{req2}} = req2$$

**Ecuación 27**  
Segunda ecuación del eslabón imaginario  $req2$

Al igualar las dos ecuaciones (**Ecuación 26** igual a **Ecuación 27**)

$$\theta_{req2} = \tan^{-1} \left\{ \frac{r2 \sin \theta2 + req1 \sin \theta_{req1}}{r2 \cos \theta2 + req1 \cos \theta_{req1} - r1} \right\}$$

**Ecuación 28**  
Comportamiento del angulo del eslabón req2

### 2.6.1.10 Calculo de velocidades

Por definición la  $w_{req1} = w3$

$$r2 + req1 = r1 + req2$$

$$r2e^{i\theta2} + req1 * e^{i\theta_{req1}} = r1e^{i\theta1} + req2 * e^{i\theta_{req2}} .$$

$$\frac{d(r * e^{i\theta})}{dt} = r \frac{d(e^{i\theta})}{dt} + e^{i\theta} \frac{d(r)}{dt}$$

$$\frac{d(r2e^{i\theta2})}{dt} + \frac{d(req1e^{i\theta_{req1}})}{dt} = \frac{d(r1e^{i\theta1})}{dt} + req2 \frac{d(e^{i\theta_{req2}})}{dt} + e^{i\theta_{req2}} \frac{d(req2)}{dt}$$

$$i * req1 * w_{req1} e^{i\theta_{req1}} = e^{i\theta1} v_1 + (req2 * i * w_{req2} + v_{req2}) e^{i\theta_{req2}}$$

$$i * req1 * w_{req1} * \cos \theta_{req1} - req1 * w_{req1} \sin \theta_{req1}$$

$$= v_1 + v_{req2} * \cos \theta_{req2} - req2 w_{req2} \sin \theta_{req2} + req2 * i * w_{req2} * \cos \theta_{req2}$$

$$+ v_{req2} * i \sin \theta_{req2}$$

$$-req1 * w_{req1} \sin \theta_{req1} = v_1 + v_{req2} * \cos \theta_{req2} -$$

$$req2 w_{req2} \sin \theta_{req2}$$

**Ecuación 29**  
Números reales (Velocidad) en  
req2

$$req1 * w_{req1} * \cos \theta_{req1} = req2 w_{req2} \cos \theta_{req2} +$$

$$v_{req2} * \sin \theta_{req2}$$

**Ecuación 30**  
Números imaginarios (Velocidad)  
en req2

$$v_{req2} = \frac{req1 * w_{req1} * \cos \theta_{req1} - req2 w_{req2} \cos \theta_{req2}}{\sin \theta_{req2}}$$

**Ecuación 31**  
velocidad en el punto de interes  
req2

La ecuación anterior se reemplaza en la ecuación real despejando  $w_{req2}$

$$req1 * w_{req1} \sin \theta_{req1} * \sin \theta_{req2} + v_1 * \sin \theta_{req2} + (req1 * w_{req1} * \cos \theta_{req1} \cos \theta_{req2} - req2 w_{req2} \cos \theta_{req2} \cos \theta_{req2}) = req2 w_{req2} \sin \theta_{req2} * \sin \theta_{req2}$$

$$w_{req2} =$$

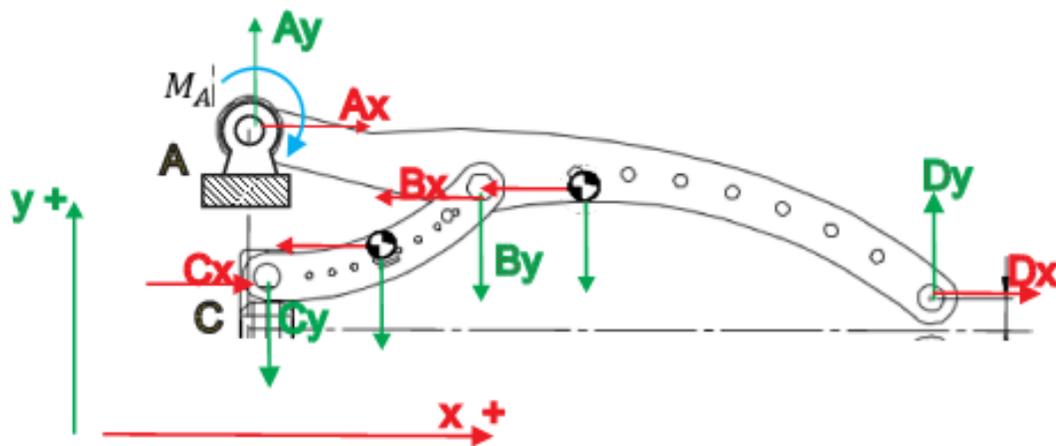
$$\frac{req1 * w_{req1} (\sin \theta_{req1} * \sin \theta_{req2} + \cos \theta_{req1} \cos \theta_{req2}) + v_1 * \sin \theta_{req2}}{req2 * (\sin \theta_{req2} * \sin \theta_{req2} + \cos \theta_{req2} \cos \theta_{req2})}$$

**Ecuación 32**  
Velocidad angular en  
req2

Se reemplaza en la ecuación imaginaria

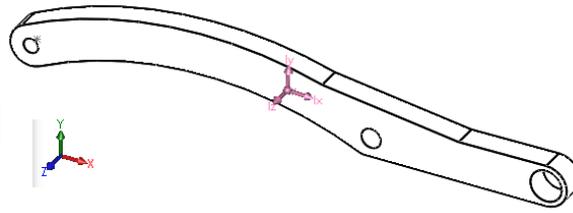
$$v_{req2} = \frac{req1 * w_{req1} * \cos \theta_{req1}}{\sin \theta_{req2}} - \left( \frac{req1 * w_{req1} (\sin \theta_{req1} * \sin \theta_{req2} + \cos \theta_{req1} \cos \theta_{req2}) + v_1 * \sin \theta_{req2}}{(\sin \theta_{req2} * \sin \theta_{req2} + \cos \theta_{req2} \cos \theta_{req2})} \right) * \frac{\cos \theta_{req2}}{\sin \theta_{req2}}$$

### 2.6.1.11 Calculo de fuerzas



*Figura 52* Diagrama de cuerpo libre con las fuerzas que actúan en los eslabones

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_A = 0$$



*Figura 53.* Diagramas de cuerpo libre

### 2.6.1.12 Esfuerzo estático aplicado a cada cuerpo libre

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_A = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x + B_x + D_x = 0$$

La fuerza de \$D\_x\$ debe ser mínima entonces resulta que  $A_x = -B_x$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B_y + D_y = 0$$

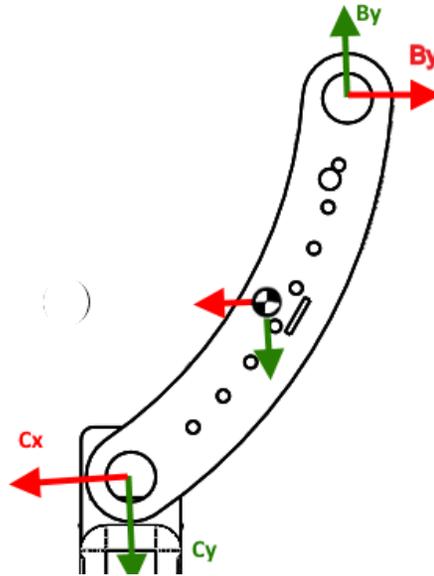
$$\sum M_A = 0$$

$$B_y(\overline{AB} * \cos \theta_3) + D_y(\overline{AD} * \cos \theta_3)$$

$$B_y(\overline{AB} * \cos \theta_3) + D_y(\overline{AD} * \cos \theta_3) = 0$$

$$B_y \left( \frac{\cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right) = -D_y \left( \frac{\overline{AD}}{\overline{AB}} * \frac{\cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right)$$

$$B_y = -D_y \frac{\overline{AD}}{\overline{AB}}$$



**Figura 54.** Diagrama de cuerpo libre con fuerzas que actúan en el eslabón.

$$\sum F_x = 0$$

$$C_x + B_x = 0$$

La fuerza de Dx debe ser mínima entonces resulta que  $C_x = -B_x$

$$\sum F_y = 0$$

$$B_y + C_y = 0$$

$$\sum M_{CG} = 0$$

$$B_x \left( \frac{\overline{CB}}{2} * \cos \theta_4 \right) + C_y \left( \frac{\overline{CB}}{2} * \sin \theta_4 \right) + B_y \left( \frac{\overline{CB}}{2} * \sin \theta_4 \right) + C_x \left( \frac{\overline{CB}}{2} * \cos \theta_4 \right)$$

$$B_x (\overline{AB} * \sin \theta_4) + B_y (\overline{AB} * \cos \theta_4) + D_y (\overline{AD} * \cos \theta_4) = 0$$

Despejando  $B_x$

$$B_x = -B_y \left( \frac{\cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right) - D_y \left( \frac{\overline{AD}}{\overline{AB}} * \frac{\cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)$$

### 2.6.1.13 Principio d'Alembert

Basándose en el principio d'Alembert de las potencias virtuales se establece formulas a partir las **Ecuaciones** de Newton el cual enuncia en o siguiente.

$$\text{Principio de D'Alembert} \leftrightarrow \begin{cases} \sum F - maG = 0 \\ \sum M - IG\alpha = 0 \end{cases}$$

Son las potencias

$$\text{Potencia} = \text{Fuerza} * \text{velocidad} (\mathbf{F} * \mathbf{v})$$

$$\text{Potencia} = \text{par de torsion} * \text{velocidad angular} (\mathbf{T} * \mathbf{w})$$

$$\sum_{k=2}^n \mathbf{F}_k * \mathbf{v}_k + \sum_{k=2}^n \mathbf{T}_k * \mathbf{w}_k - \sum_{k=2}^n \mathbf{m}_k * \mathbf{a}_k - \sum_{k=2}^n \mathbf{I}_k * \alpha_k * \mathbf{v}_k = 0$$

$$v_c i + w_4 X \bar{r}_4 = w_3 X \bar{r}_3$$

$$v_c i + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & w_4 \\ r_4 \cos(\theta_4) & r_4 * \sin(\theta_4) & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & w_3 \\ r_3 \cos(\theta_3) & r_3 * \sin(\theta_3) & 0 \end{vmatrix}$$

$$v_c - w_4 * r_4 * \sin(\theta_4) = -w_3 * r_3 * \sin(\theta_3)$$

**Ecuación 33**  
velocidad en el punto de interés  
mediante teorema de potencias

$$w_4 * r_4 * \cos(\theta_4) = w_3 * r_3 * \cos(\theta_3)$$

**Ecuación 34**  
Velocidades angulares

Se despeja w3 de **Ecuación 34**

$$\frac{w_4 * r_4 * \cos(\theta_4)}{r_3 * \cos(\theta_3)} = w_3$$

**Ecuación 35**  
Velocidad angular en r3

Reemplazamos  $w_3$  en **Ecuación 33**

$$v_c * \cos(\theta_3) = w_4 * r_4 * \sin(\theta_4) * \cos(\theta_3) - w_4 * r_4 * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_3)$$

$$w_4 = \frac{v_c * \cos(\theta_3)}{r_4 * \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

**Ecuación 36**  
velocidad angular en  $r_4$

$w_4$  se reemplaza en **Ecuación 34**

$$w_4 * r_4 * \cos(\theta_4) = w_3 * r_3 * \cos(\theta_3)$$

$$w_3 = \frac{v_c * \cos(\theta_4)}{r_3 * \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

Considerando los centros de gravedad

$$v_{cg4} = v_c i - w_4 * \frac{r_4}{2} * \sin(\theta_4) i + w_4 * \frac{r_4}{2} * \cos(\theta_4) j$$

Principio de potencias virtuales de Alembert

$$F_c * v_c i - D_y j * (w_3 * X * \overline{req1}) = 0$$

$$F_c * v_c i - D_y j * \left( \begin{array}{ccc|c} i & j & k & \\ \hline 0 & 0 & \frac{v_c * \cos(\theta_4)}{r_3 * \sin(\theta_4 - \theta_3)} & \\ r_4 \cos(\theta_4) & r_4 * \sin(\theta_4) & 0 & \end{array} \right) = 0$$

$$F_c * v_c i - D_y j * \frac{v_c * \cos(\theta_4)}{r_3 * \sin(\theta_4 - \theta_3)} (r_4 \cos(\theta_4) j - r_4 * \sin(\theta_4) i) = 0$$

$$F_c i = D_y * \frac{r_4 * (\cos(\theta_4))^2}{r_3 * \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

**Ecuación 37**  
Fuerza en el punto de interés

#### 2.6.1.14 Cálculos de Fuerzas para diferentes pesos.

Datos:

Para un peso  $P = x \text{ lb} = 22.24\text{N} = 2.7\text{kg}$

Coeficiente de friccion entre el aluminio y el acero  $u = 0.61$

$F_f =$  Fuerza de friccion

$N =$  normal producida

Cálculos:

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$2F_f - 22.4\text{N} = 0$$

$$F_f = 11.12\text{N}$$

$$F_f = N * u$$

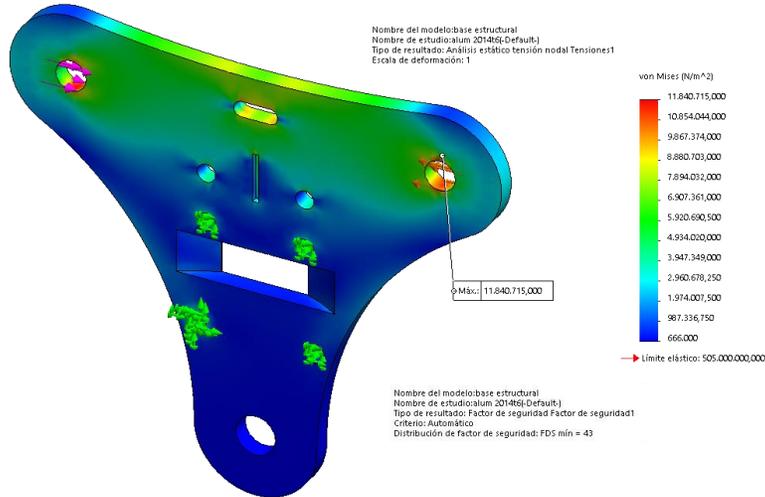
$$N = \frac{11.12\text{N}}{0.61} = 18.22\text{N}$$

## 2.6.2 Esfuerzos

### 2.6.2.1 Base estructural

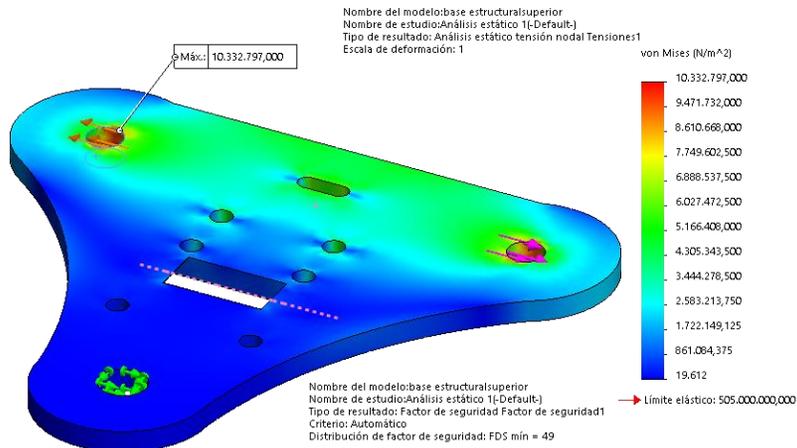
Nombre del modelo:base estructural  
 Nombre de estudio:alum 2014t6(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1

Nombre del modelo:base estructural  
 Nombre de estudio:alum 2014t6(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 43



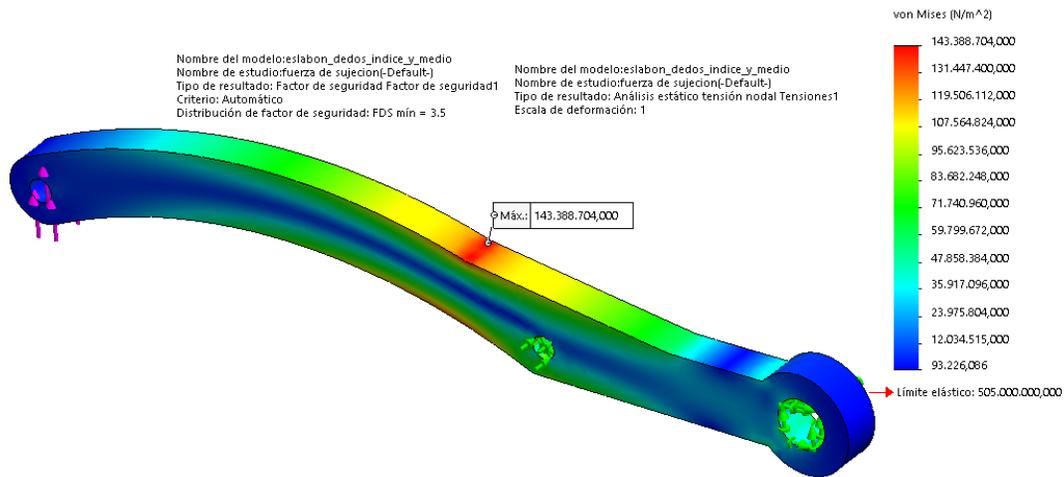
Nombre del modelo:base estructuralsuperior  
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 49

Nombre del modelo:base estructuralsuperior  
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1



### 2.6.2.2 Dedos

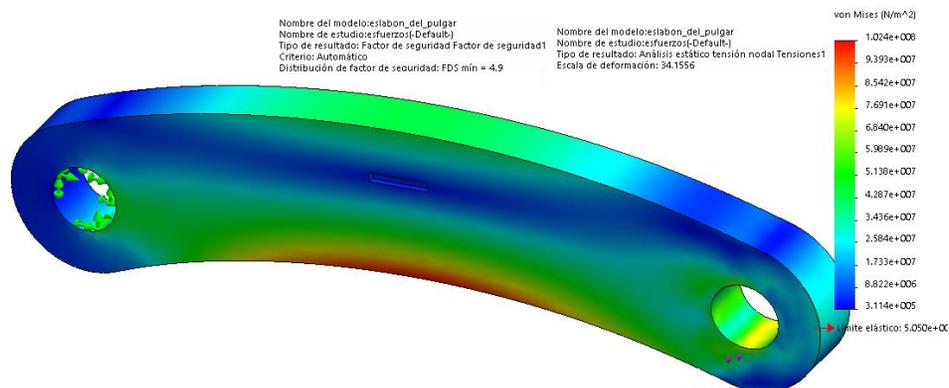
Nombre del modelo: eslabon\_dedos\_indice\_y\_medio  
 Nombre de estudio: fuerza de sujecion(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.5  
 Nombre del modelo: eslabon\_dedos\_indice\_y\_medio  
 Nombre de estudio: fuerza de sujecion(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1



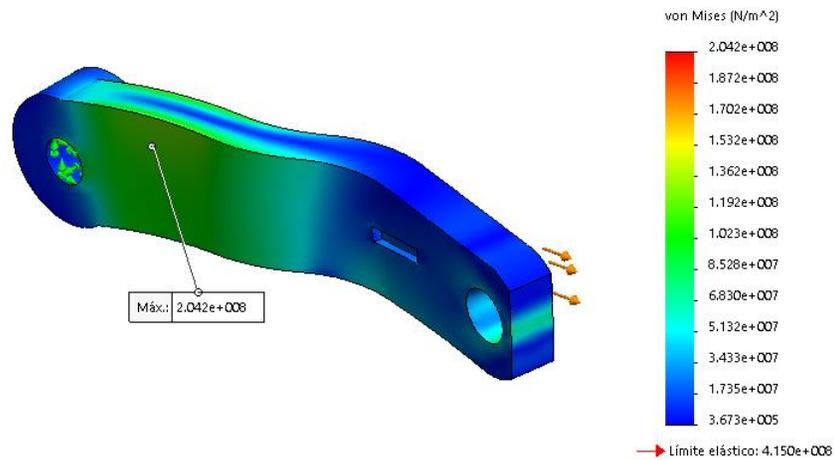
### 2.6.2.3 Eslabones

Nombre del modelo: eslabon\_del\_pulgar  
 Nombre de estudio: esfuerzos(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 34.1556

Nombre del modelo: eslabon\_del\_pulgar  
 Nombre de estudio: esfuerzos(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4.9

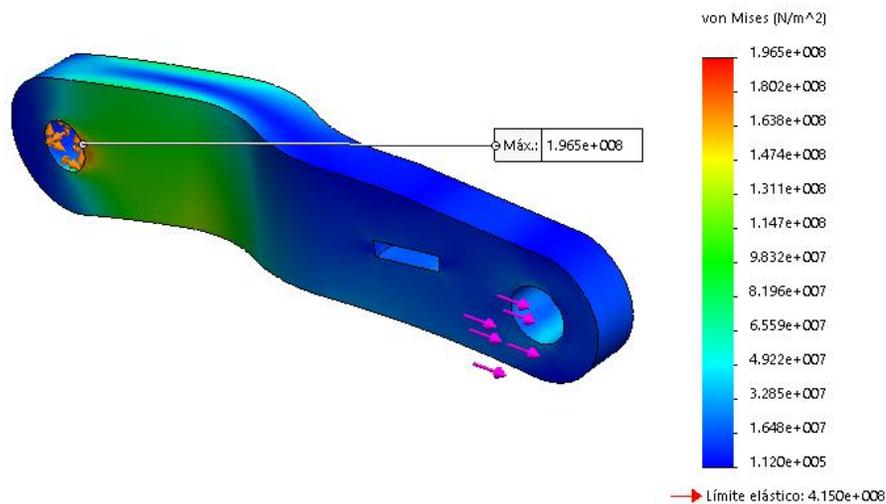


Nombre del modelo: eslabon\_B\_del\_indice\_y\_medioB  
 Nombre de estudio: esfuerzos en el tendón(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 7.58922  
 Nombre del modelo: eslabon\_B\_del\_indice\_y\_medioB  
 Nombre de estudio: esfuerzos en el tendón(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2



Nombre del modelo: eslabon\_A\_del\_indice\_y\_medioB  
 Nombre de estudio: esfuerzos en el tendón(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 11.7445

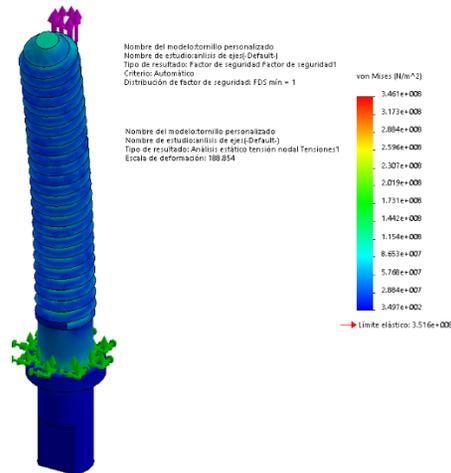
Nombre del modelo: eslabon\_A\_del\_indice\_y\_medioB  
 Nombre de estudio: esfuerzos en el tendón(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.1



### 2.6.2.4 Tornillo de potencia

Nombre del modelo:tornillo personalizado  
 Nombre de estudio:anlisis de ejes(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 490.698

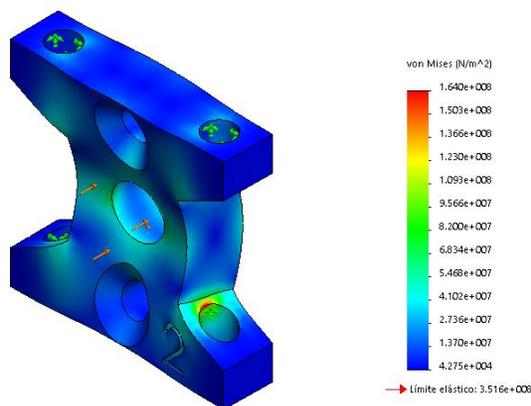
Nombre del modelo:tornillo personalizado  
 Nombre de estudio:anlisis de ejes(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.5



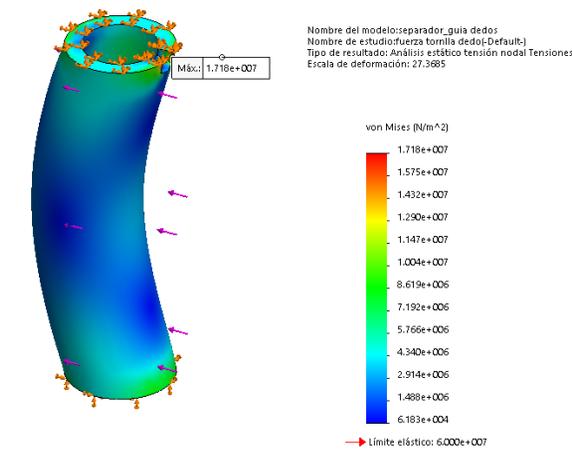
### 2.6.2.5 Separador del Gripper

Nombre del modelo:base tornillosinfin2  
 Nombre de estudio:base del tornillo(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 810.183

Nombre del modelo:base tornillosinfin2  
 Nombre de estudio:base del tornillo(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.1



### 2.6.2.6 Espaciador

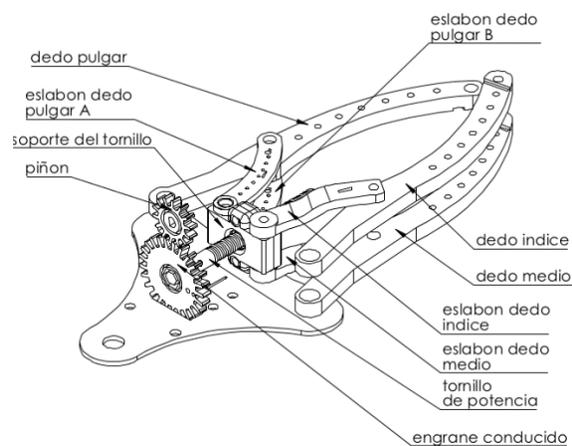


### 2.6.3 Selección de otros elementos

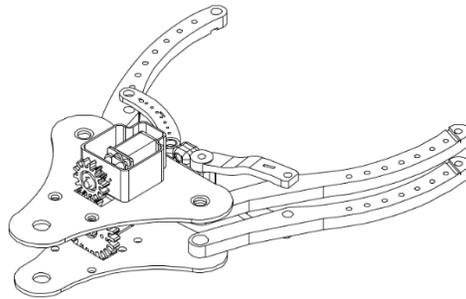
Los tornillos de sujeción son uno de los elementos más vitales en la sujeción del dispositivo (Herrick, s.f.). la dimensión del motor dependerá de la potencia que se suministrará

Tornillos métricos con tuerca M3 Y M4

### 2.6.4 Resultado final del Gripper



*Figura 55.* Descripción de las partes de la mano

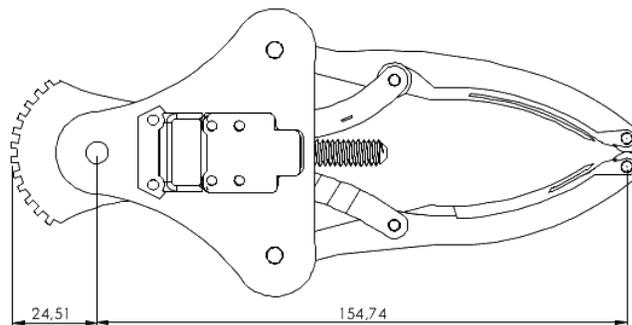


**Figura 56.** Apertura final de la mano

## 2.7 Soluciones en el diseño de la muñeca movimiento transversal

### 2.7.1 Accionamiento mecánico de la muñeca análisis geométrico

La distancia máxima que se considerara es la del extremo de los dedos como un punto conocido y su contra parte se establece de la siguiente manera.

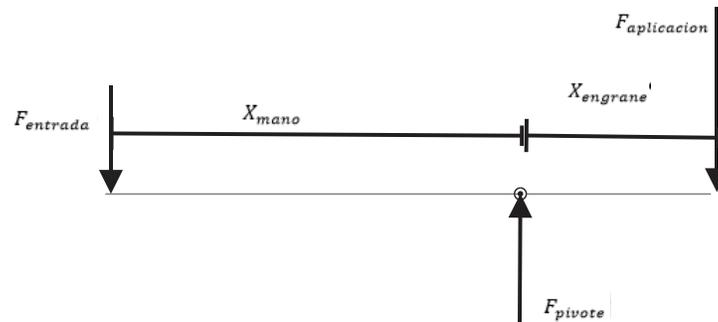


**Figura 57.** Distancia engrane muñeca hasta final del dedo.

Para iniciar con el diseño se considera el mejor factor por la fuerza que se aplicara dentro de la muñeca mediante el cálculo básico para posteriormente aplicar ingeniería y resistencia de materiales, se establece la distancia máxima o de interés que está situada en la parte más alejada de los dedos a una distancia de 155mm a partir del pivote de la muñeca.

El movimiento de extensión y flexión se establece cuando existe un movimiento rotacional en la articulación del carpo.

Se inicia estableciendo un solo cuerpo para diseñar el diámetro del engrane de conexión haciendo una consideración de que es una barra con dos fuerzas que actúan en sus extremos.



**Figura 58.** Palanca de conexión mano muñeca.

En el cual la fuerza de entrada genera una rotación en el pivote y es anulada con la fuerza de aplicación del tornillo sin fin hacia el engrane de conexión

$$F_{entrada} * X_{mano} = F_{aplicacion} * X_{engrane}$$

además, que la fuerza generada en el pivote es la suma total que intervienen

$$F_{entrada} + F_{aplicacion} = F_{pivote}$$

$$X_{mano} = 155 \text{ mm}$$

y la relación propuesta de tres más cero punto veinticinco lo que proporciona una  $X_{engrane} = 47.6929 \text{ mm}$  lo incrementa a 48 mm para establecer el número de dientes requerido se realiza en función de la relación de transmisión de engrane y tornillo que soluciona la relación si el módulo es la relación existente entre el diámetro primitivo y el número de dientes al analizar la primera respuesta será .

$$pas(p) = \pi * \text{módulo}(m)$$

$$m_{engrane} = \frac{d_{engrane}}{z_{engrane}} \text{ y } p_{tornillo} = \pi * m_{engrane}$$

$$p_{\text{tornillo}} = \pi * \left( \frac{d_{\text{engrane}}}{Z_{\text{engrane}}} \right) \text{ y } Z_{\text{engrane}} = \pi * \left( \frac{d_{\text{engrane}}}{p_{\text{tornillo}}} \right)$$

$$Z_{\text{engrane}} = 37.699 \rightarrow 38 \text{ engranes}$$

Proporcionando un diámetro primitivo de 48.4 mm

## 2.7.2 Diseño del tornillo sin fin.

La relación de transmisión tornillo-engrane se asume la cantidad de engranes y el número de hilos o cuerdas del tornillo.

$$\frac{Z_{\text{muñeca}}}{n_{\text{hilos}}} = \frac{m_{\text{engrane}} * D_{\text{engrane}}}{n_{\text{hilos}}} = \frac{50}{1} \therefore 50:1$$

$m_{\text{engrane}}$ : modulo del engrane

$$p_{\text{aso}_{\text{tornillo}}} = \pi * \text{módulo}_{\text{engrane}}$$

De igual manera que se realizó el estudio dinámico y cinemático del tornillo de potencia se establece para el tornillo sin fin resultando de la siguiente manera

$$P_r = \frac{F \left( \frac{l}{\pi d_m} + u \right)}{1 - \left( u * \frac{l}{\pi d_m} \right)} \text{ y } P_l = \frac{F \left( u - \left( \frac{l}{\pi d_m} \right) \right)}{1 + \left( \frac{u * l}{\pi d_m} \right)}$$

### Ecuación 38

Fuerza para poder subir y bajar una carga respectivamente tornillo muñeca

$$T_r = \frac{F * d_m (l + u * \pi d_m)}{2(\pi d_m - u * l)} \text{ y } T_L = \frac{F * d_m (u * \pi d_m - l)}{2 * (\pi d_m + u * l)}$$

### Ecuación 39

Torque para poder subir y bajar una carga tornillo muñeca

$l$ : paso del tornillo sin fin

$u$ : coeficiente de fricción

$d_m$ : diametro del tornillo sin fin

**Tabla 37**  
*Datos del tornillo sin fin .*

l	4	mm			
u	0,1	mm			
d_m	7	mm			
Fuerza axial	1	Newton			
	0,28711369		-0,08042842		
Pr	0,28711369	Newton	Pl	-0,08042842	Newton
Tr	1,00489793	Newton	Tl	-0,28149947	Newton

### 2.7.3 Relación de transmisión de los engrane

Para poder generar un diseño adecuado se establece una distancia apropiada entre centro del engrane del servo motor y el tornillo sin fin que resulta de 21 mm a continuación se establece los datos como son:

Diámetro motriz piñón (dm1) 21mm

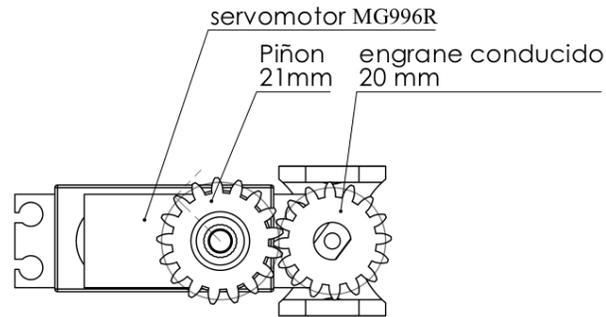
Diámetro engrane conducido de la muñeca (dm2) 22 mm

Diámetro tornillo sin fin de la muñeca (dtm) 7mm

Paso de tornillo de la muñeca (ptm) 4 mm

Velocidad angular proporcionada por el servomotor 66,66666667 rpm (TowerPro.com.tw, s.f.)

$$Relacion\ de\ transmision = \frac{ptm * dm1 * dtm}{\pi * dtm * dm2 * dm2} = 0,193353505$$



**Figura 59.** Tamaños de engranes de la muñeca.

Calculando la velocidad lineal en el tornillo sin fin

$$v_{tsf} = \frac{ptm * dm1 * dtm * dtm * w1}{\pi * dtm * dm2 * dm2 * 2} = 0,214837227 \left[ \frac{mm}{seg} \right]$$

Longitud desde el pivote hasta la punta de los dedos y el radio del engrane del piñón

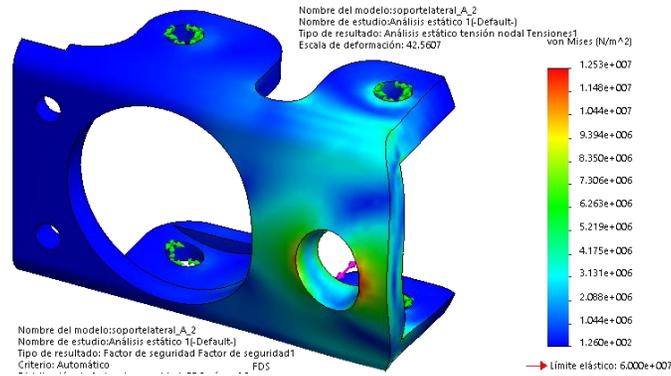
$$v_{dedos} = v_{tsf} \frac{155mm}{24mm} \text{ y } w_{dedos} = 0,19335350 * w_{motor} * \frac{24mm}{155mm}$$

$$v_{dedos} = 1.35625 \frac{mm}{seg} \text{ y } w_{dedos} = 10,8141321 \left[ \frac{^\circ}{seg} \right]$$

## 2.7.4 Esfuerzos

### 2.7.4.1 Soporte lateral de la muñeca

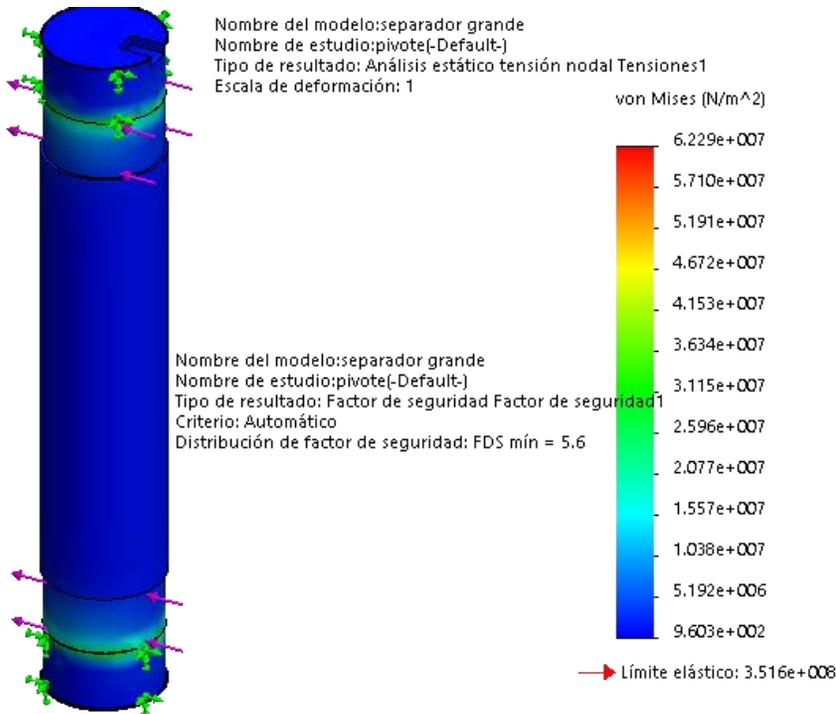
Nombre del modelo:soportelateral\_A\_2  
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático FDS  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4.8  
 Nombre del modelo:soportelateral\_A\_2  
 Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 42.5607 von Mises (N/m^2)



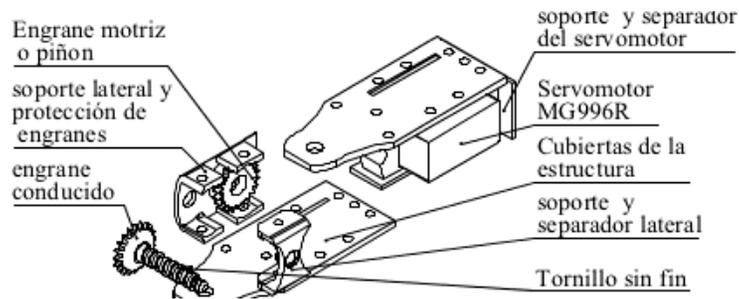
### 2.7.4.2 Barra de acero inoxidable

Nombre del modelo:separador grande  
 Nombre de estudio:pivote(-Default-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1

Nombre del modelo:separador grande  
 Nombre de estudio:pivote(-Default-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Automático  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5.6



### 2.7.4.3 Elemento final en el diseño



*Figura 60.* Estructura de la muñeca.

## 2.8 Selección de materiales y dispositivos electrónicos.

Las dimensiones de los servomotores se lo considero según el espacio físico como un factor primordial, los micromotor pololu proporcionan torque y velocidades adecuadas para este proyecto tal y como se muestra a continuación.

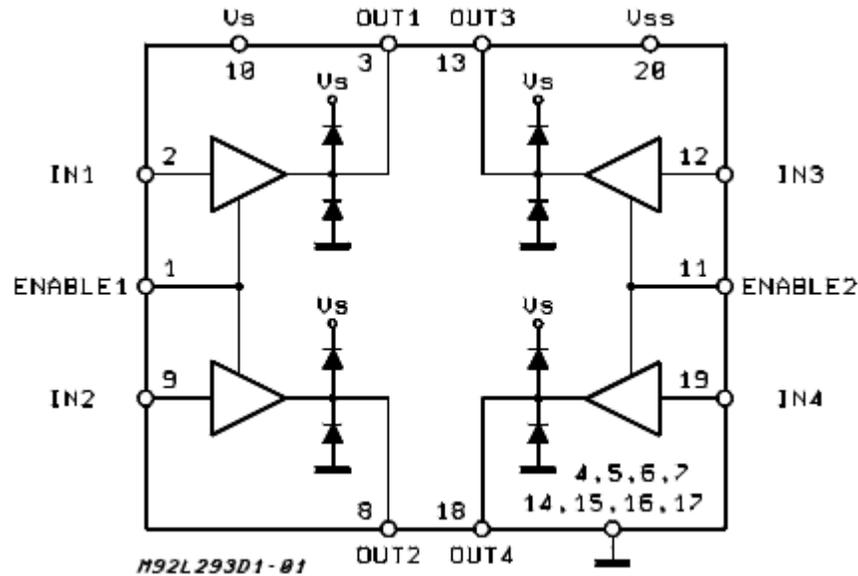


*Figura 61.* Micromotor pololu  
Fuente: (Electronics, s.f.)

### 2.8.1 Puente H

Un Puente H es un dispositivo versátil como integrado está compuesto principalmente de dos canales que proporcionan control de dos motores bipolares de DC (corriente directa) o el control de motor a pasos bipolar en el caso del proyecto la utilización solo se basara en el control de dos

motores DC acoplados con reductores de velocidades para poder aprovechar el aumento de la fuerza.



**Figura 62.** Esquema interno de un circuito L293D.

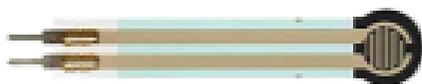
La versatilidad de poder controlar los canales “Enable 1 y 2” permite introducir la señal PWM a continuación se muestra el funcionamiento de la lógica del circuito integrado L293D.

**Tabla 38**

*Lógica de funcionamiento del dispositivo y la acción que tomara el controlador .*

B1	B2	B3	B4	Enable 1	Enable2	In A	In B
1	0	0	0	0	Pwm	1	0
0	1	0	0	0	Pwm	0	1
0	0	1	0	Pwm	0	1	0
0	0	0	1	Pwm	0	0	1

### 2.8.2 Sensor de fuerza



FSR® 400  
5mm Circle x 38mm

**Figura 63.** Sensor de fuerza.

**Tabla 39**  
Características del sensor de fuerza.

Características del Dispositivo	Valores
Fuerza de actuación	~0.2N min
Rango de sensibilidad de fuerza	~0.2N – 20N
Resolución de Fuerza	Medición continua (analoga)
Repetitividad de Fuerza Parte Única	+/- 2%
Forzar repetitividad Parte a Parte	+/- 6% (Single Batch)
Resistencia no accionada	>10 Mohms
Histéresis	+10% Average (RF+ - RF-)/RF+
Tiempo de subida del dispositivo	< 3 Microsegundos
10 Millón actuaciones, 1kg, 4Hz	-10% Cambio de resistencia promedio
sobrecarga 2.5kg 24 hours	-5% cambio de resistencia por sobre carga

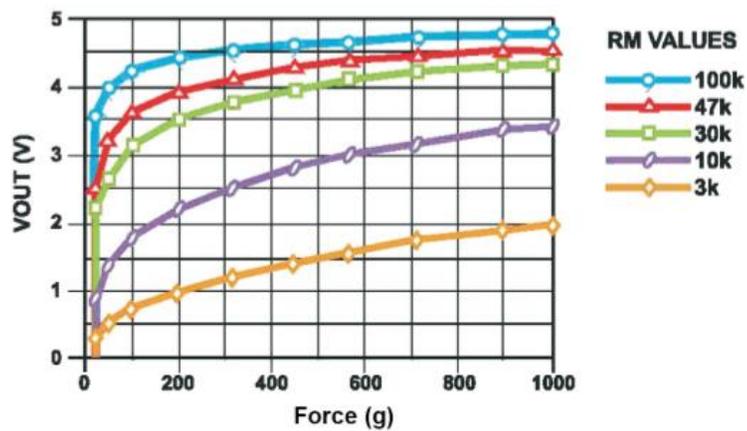


Figura 64. Curva característica.

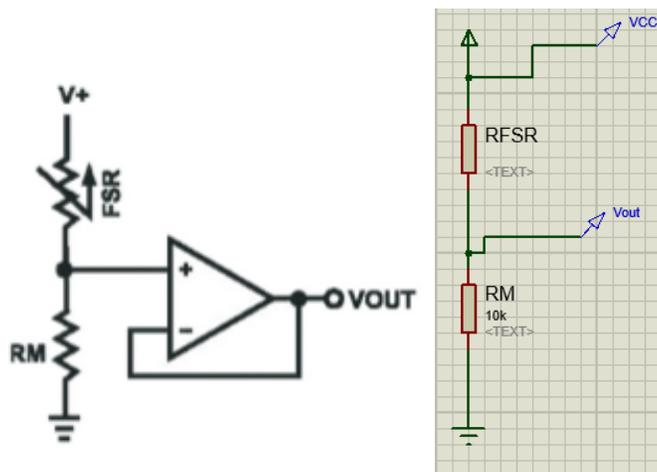


Figura 65 Circuito acondicionado del sensor de fuerza

El consumo de corriente máximo se establece cuando el sensor se establece con 1Kg proporcionando un valor máximo de voltaje y de corriente.

$$V_{out} = \frac{R_M * V_{CC}}{R_M + R_{FSR}} \text{ si } V_{out} = 3,6 \text{ y } R_M = 10K\Omega$$

$$R_{FSR} = \frac{R_M V_{CC}}{V_{out}} - R_M \quad R_{FSR} = 3,8888889K$$

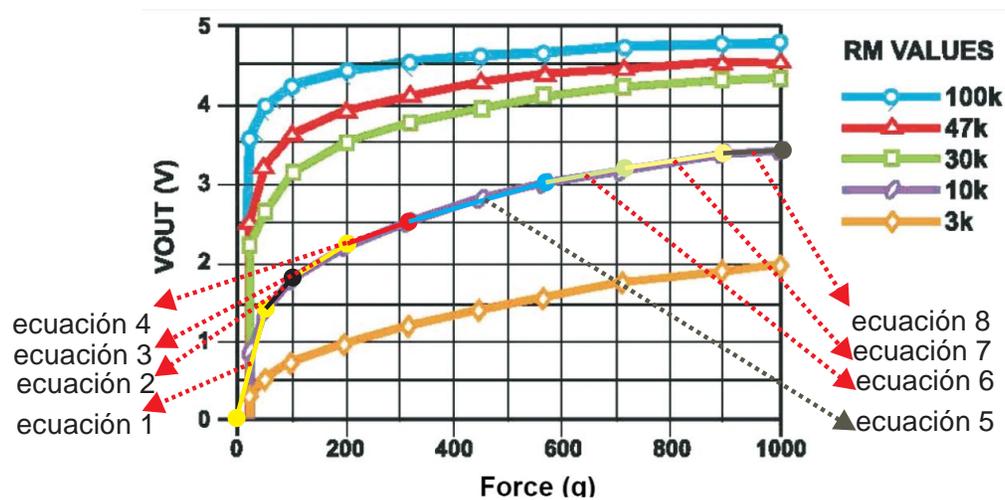
**Ecuación 40**  
Resistencia equivalente para 1Kg

La corriente consumida al momento de aplicar una fuerza de 1Kg será la resistencia total

$$I_{sensor} = \frac{V_{CC}}{R_M + R_{FSR}} = \frac{5}{10K + 3,889K} = 0,3599mA$$

**Ecuación 41**  
Corriente del sensor

Para poder establecer el margen de salida de gramos en función del voltaje se descompone en rectas numéricas para obtener valores aproximados



**Figura 66** Ubicación de la recta y la curva



**Figura 67** Ubicación del sensor en la prótesis

**Tabla 40**  
Curvas características de cada segmento.

ORD	Dominio		Rango		m(pendiente)	b	Función pendiente ordenada al origen
	$gr_{final}$	$gr_{inicial}$	$V_{final}$	$V_{inicial}$	$\frac{V_{final} - V_{inicial}}{Gr_{final} - Gr_{inicial}}$	$m$ $* gr_{final}$ $- V_{final}$	$gr = \frac{voltaje - b}{m}$
1	50	0	1,4	0	0,028	0	$\frac{voltaje}{0,028}$
2	100	50	1,8	1,4	0,00799998	1,00	$\frac{voltaje - 1}{0,008}$
3	200	100	2,3	1,8	0,0050	1,30	$\frac{voltaje - 1,3}{0,005}$
4	310	200	2,5	2,3	0,002	1,94	$\frac{voltaje - 1,94}{0,002}$
5	550	310	2,8	2,5	0,001	2,11	$\frac{voltaje - 2,11}{0,001}$
6	700	550	3,20	2,80	0,003	1,33	$\frac{voltaje - 1,33}{0,003}$
7	900	700	3,40	3,20	0,001	2,50	$\frac{voltaje - 2,5}{0,001}$
8	1000	900	3,45	3,4	0,0005	2,95	$\frac{voltaje - 2,95}{0,0005}$

### 2.8.3 Micro pulsadores

Los pulsadores son interruptores en un tiempo corto que retornan a su posición de reposo después de ser pulsados al establecer la definición de un pulsador es el paso de corriente en un tiempo de pulso lo que indica que la  $R_B$  se alimenta con  $V_{CC5+}$  proporcionando una corriente de 0,5 mA.



**Figura 68** Pulsadores

$$I_B = \frac{V_{CC5+}}{R_B} = 0,5 \text{ mA}$$

En el peor de los casos al pulsar los cuatro botones se establece cuatro veces, consume una corriente de dos miliamperios(2mA)

#### 2.8.4 Tarjetas de control

Los tipos de tarjetas se tomaron en cuenta son el PIC (Peripheral Interface Controller), Arduino, y Raspberry de forma muy generalizada para proporcionar un panorama de las características físicas y de memoria

**PIC (controlador de interfaz periférico).** este dispositivo es muy usado en la ingeniería de control proporcionando una facilidad en el procesamiento de señales digitales y análogas que son proporcionados por sensores y pulsadores su lenguaje de programación es de bajo nivel cuando se usa lenguaje ensamblador y de alto nivel cuando se herramientas de diseño integrado IDE

una de las principales desventajas es su utilización y acondicionamiento de las señales para las entradas

**Arduino.-** Este elemento al igual que los PICs permiten el control y procesamiento de las señales que son manipuladas dentro de los microcontroladores AVR (Hetpro.com.mx, s.f.)

**Raspberry** es la nueva generación de controladores con más prestaciones e incluso el procesamiento de video y audio la mención es un controlador veloz pero la limitación es su costo. (PI, s.f.)

Los elementos seleccionados se los tomo de acuerdo al tamaño y las prestaciones del controlador en caso del Arduino se consideró las dimensiones y el espacio de memoria en lo que respecta al

Raspberry se observó las prestaciones con el espacio de memoria EEPROM, por último, el PIC se consideró en su tamaño y la disponibilidad

**Tabla 41**

*Breve análisis de tarjetas electrónicas consideradas.*

	<b>Arduino</b>	<b>Raspberry</b>	<b>Microcontrolador</b>
Microcontrolador	Atmega		Familia de los Pics
Voltaje externos	3.3-9 voltios	12 volts	TTL 5V
Pines Rx Tx	Configurables	Fijos	Configurables
Software	Arduino IDE	Sistema operativo aplicativo	Lenguajes essembler , basic
Grado de complejidad	Bajo	Medio	Bajo

### 2.8.5 Baterías

En la selección no se consideró la fuente de alimentación para la mejor selección se aplicará el método de criterios ponderados con los tres tipos de baterías más comunes del mercado.

**Baterías de lipo.-** la característica de esta batería es en su voltaje que depende del número de celdas a usar y la fiabilidad al momento de a suministrar voltaje constante (HIMDEL, s.f.),



**Figura 69** Batería de lipo

**Baterías de carga directa.** se los denominó de esta manera debido a su carga dentro de los circuitos sin necesidad de desmontarlos del sitio



**Figura 70** Baterías de carga directa

**Pilas recargables.** este tipo de elementos son de uso general el inconveniente resulta al momento de adquirir la carga de diseño para que el circuito funcione en óptimas condiciones



*Figura 71* Baterías recargables

Criterios: Costo, durabilidad, disponibilidad, funcionalidad

**Tabla 42**

*Criterios de selección de la batería.*

Criterio	Ponderación
Costo	0,20
Durabilidad	0,35
Disponibilidad	0,25
Funcionalidad	0,20

**Tabla 43**

*Resumen y conclusión de la selección de la batería.*

Conclusiones	Costo	Durabilidad	Disponibilidad	Funcionalidad	$\Sigma$
Baterías de lipo	0,07	0,18	0,06	0,08	0,39
Baterías de carga directa	0,08	0,09	0,10	0,07	0,34
Pilas y baterías recargables	0,05	0,09	0,08	0,05	0,27

### 2.8.6 Actuadores eléctricos

**Motores lineales.** Es un elemento que posee un estator y un rotor que producen fuerza en lugar de un torque los elementos más conocidos son los de tipo Lorenz a causa de esto la fuerza es directamente proporcional a la corriente eléctrica y su campo magnético la desventaja es su longitud (wikipedia, s.f.)

**Servomotores** Los servomotores son elementos muy comunes dentro del diseño de ingeniería debido a su disponibilidad se lo puede encontrar en el mercado las características físicas y eléctricas

dependen de su consumo o potencia lo que conlleva a un torque adecuado a continuación se presenta las características técnicas del servomotor seleccionado

**Tabla 44**

*Características técnicas.*

<b>Características servomotor tower pro MG-996R</b>
4.8V : 130.5 oz-in (9.40 kg-cm)
6.0V : 152.8 oz-in (11.00 kg-cm)
Length: 1.60 in (40.6 mm)
Width: 0.78 in (19.8 mm)
Height: 1.69 in (42.9 mm)

**Micro servos.** este elemento se lo utiliza dentro de las características de funcionamiento en el cual no se requiere un control de posición, pero un torque considerable en un tamaño reducido en este caso se pondrá un motor pololu.

**Tabla 45**

*Descripción del micro servo seleccionado por su tamaño y torque.*

<b>Descripción</b>	
Velocidad angular	320 RPM
Consumo sin carga	120 mA
Torque de salida	30 oz-in (2.2 kg-cm)
Consumo con carga	1.6 A at stall.

## 2.9 Consumo eléctrico de los elementos seleccionados

**Tabla 46**

*Consumo constante del circuito.*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo de consumo</b>	<b>Consumo [mA]</b>	<b>mAh</b>
Indicador	Color rojo	24,000	0,5	12
Sensor de carga	Fsr+r[10kΩ]	24,000	0,36	8,64
Potenciómetro	10kΩ	24,000	0,001	0,012
Potenciómetro	1MΩ	24,000	0,000005	0,00012
Puente H	L293d	24,000	0,6	14,4
Etapas de control		24,000	4,32	103,68
Pulsadores	4 veces 0,5 ma	24,000	2	48
			7,780505	186,73212

En la Tabla 46 se establece que el consumo eléctrico constante sin la activación de los motores es de 186,7 miliamperios hora

**Tabla 47**

Consumo del circuito requerido para la selección de la batería.

	Cantidad de activación	Tiempo de activación [seg]	Tiempo total [hora]	Consumo [mA]	mAh
Apertura del Gripper	5000	2	2,78	150	416,667
Cierre del Gripper	2500	2	1,39	150	208,333
Cierre del Gripper con carga	2500	1	0,69	300	208,333
Flexión	5000	2	2,78	180	500,000
Extensión	5000	2	2,78	180	500,000
Modo stand by			24,00	7,78	186,732
		Consumo del circuito		967,781	2020,065

En la Tabla 47 se establece un consumo total en mili amperios que proporcionan un recurso para la selección de la batería y el tamaño de la pista dentro del PCB el modo stand (espera) es un dato que proporciona el circuito cuando está inactivo.

## 2.10 Dispositivo de control

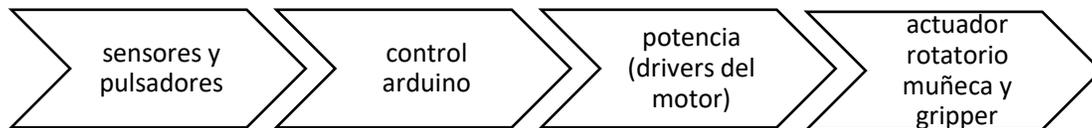


Figura 72 Lógica del funcionamiento.

### 2.10.1 Tarjeta electrónica

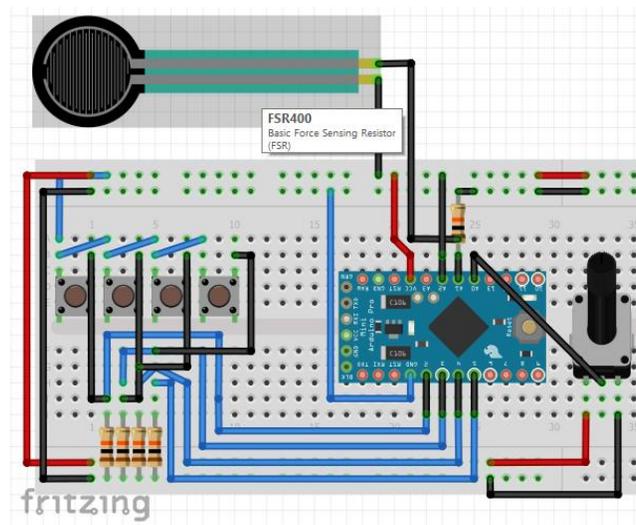


Figura 73 Diagrama pictórico de la tarjeta de control

## 2.10.2 Arduino

Esta tarjeta de control es una de las más usadas en la actualidad por su facilidad de programación además proporciona un buen desempeño al momento de aplicar un procesamiento de señales y de control.

**Tabla 48**

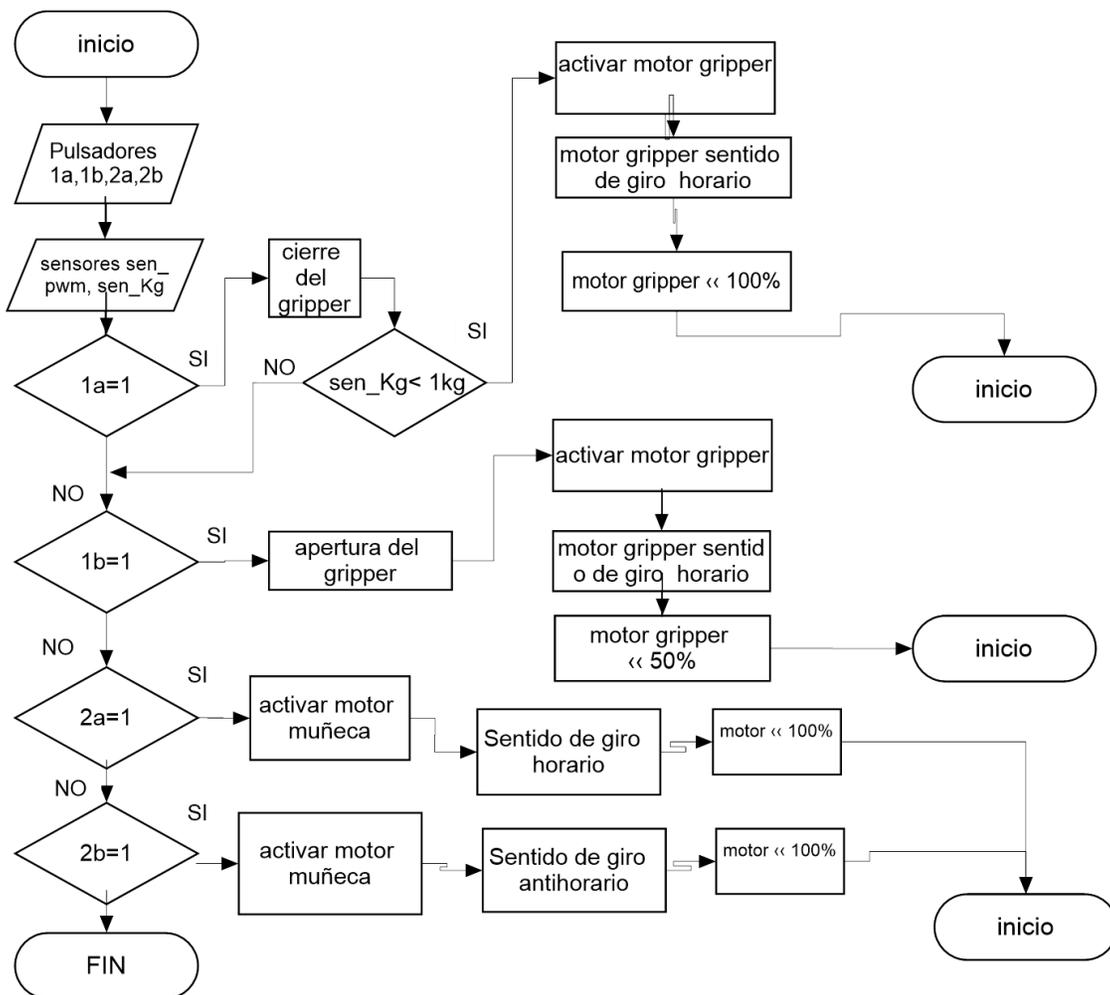
*Selección del tipo de arduino..*

Modelo	Pro mini	Nano	Uno	Mega/mega 2560	Leonardo	Micro
Microcontrolador	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR Atmega 328 8bits	AVR Atmega 2560 8bits	AVR Atmega 32U4 8bits	AVR Atmega 32U4 8bits
Memoria RAM	2 KiB	2 KiB	2 KiB	8 KiB	2.5 KiB	2.5 KiB
Memoria EEPROM	1 KiB	1 KiB	1 KiB	4KiB	1KiB	1 KiB
Memoria flash	16 ó 32 KiB	16 ó 32 KiB	32 KiB	128 ó 256 KiB	32KiB	32KiB
Pines digitales entrada y salida	14/14	14/14	14/14	54/54	20/20	20/20
Tension/corriente e pines digitales	3.3V ó 5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA
Pines analogicos Input/Output	6/0	8/0	6/0	16/0	12/0	12/0
Tension/resoluci on pines analógicos	3.3V-5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)
Pines con interrupción externa	2	2	2	6	2	2
Pines PWM	6	6	6	15	7	7
Conexiones serial /UART	1	1	1	4	1	1
Conexiones ISP/ICSP	1	1	1	1	1	1
Conexión USB	NO	SI	SI USB-B	SI USB-B	Si, nativa microusb	Si, nativa microusb
Dimensiones	18x33 mm (J.M.Hughes, s. f.)	43,2x17.78 mm (J.M.Hughes, s.f.)	50X53 mm (BECUO, s.f.)	68.58x53.34 (J.M.Hughes, s.f.)	68.6 x 53.3mm (Arduino, s.f.)	48 X 18 mm (J.M.Hughes, s.f.)

La elección se basa en las dimensiones del Arduino ya que menor tamaño será ventaja , esto debido a los limitados espacios que la prótesis obtendrá al momento de realizar el análisis del programa y su peso o espacio que ocupara en las tarjetas de control.

## 2.11 Diseño eléctrico, electrónico para el sistema de control y potencia

### 2.11.1 Diagrama de flujo



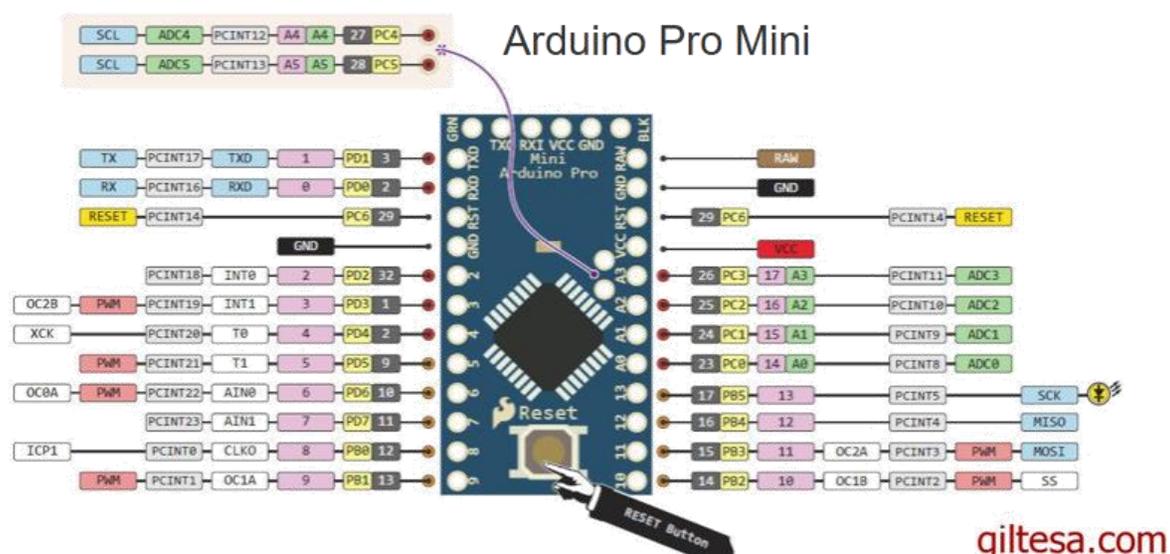
**Figura 74** Diagrama de flujo general para el funcionamiento del gripper

En la figura 63 se establece la lógica de la programación dentro del arduino que establecerá el modo de funcionamiento del dispositivo o prótesis.

**Tabla 49**  
*Peso del programa en el arduino.*

Modelo	Pro mini	Nano	Uno	Mega/mega 2560	Leonardo	Micro
Sketch programa	7852 bytes (25%)	7852 bytes (25%)	7852 bytes (24%)	8456 bytes (3%)	10280 bytes (35%)	
Sketch máximo	30720 bytes	30720 bytes	32256 bytes	253952 bytes	28672 bytes	
uso de variables globales	367 bytes (17%)	367 bytes (17%)	367 bytes (17%)	367 bytes (4%)	330 bytes (12%)	
uso de variables globales máximo	El máximo es 2048 bytes	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	2560 bytes.	

El programa que se realizo ocupa un tamaño reducido lo que resulta favorable la selección del Arduino mini pro o Arduino nano pero se opta por el de menor tamaño entre los dos, favoreciendo al primero a continuación se establece las características físicas y de programación



**Figura 75** Descripción de la tarjeta de control seleccionado

### 2.11.2 Funcionamiento de la prótesis panorama general

Para la simulación previa del sistema se opta por programas avanzados de simulación como es el caso de Proteus V8.1 que facilita la utilización virtual de elementos pasivos y activos que se disponen, la tarjeta de control se utilizara el de Arduino uno esto debido a la limitada librería

disponible, pero en la parte física se utilizara la tarjeta de control seleccionado tomando las diferentes consideraciones para el diseño del PCB y la estructura de la prótesis.

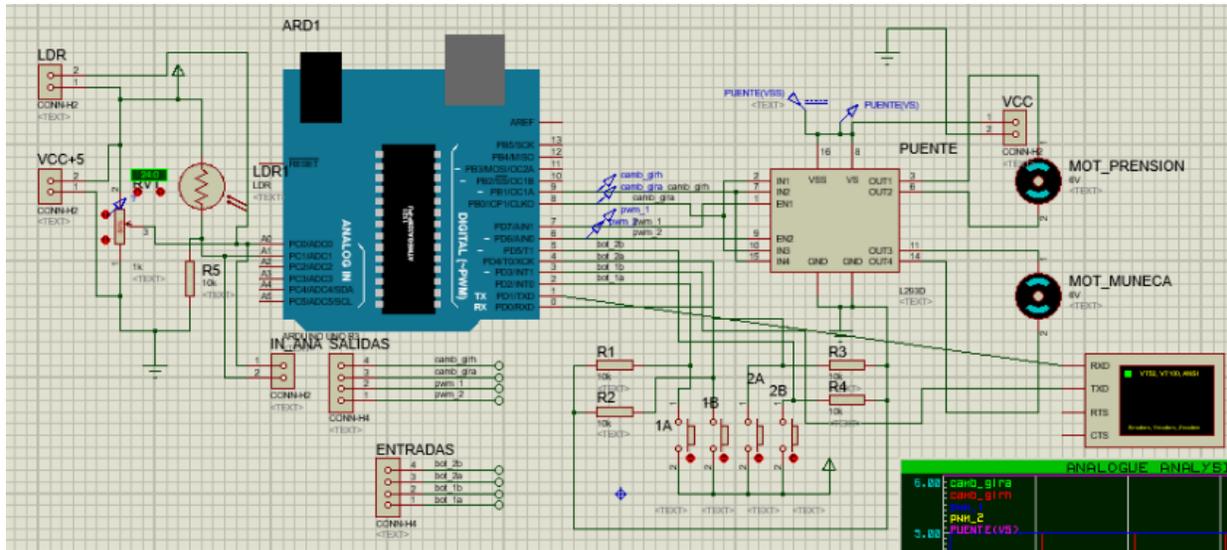


Figura 76 Simulación del circuito

### 2.11.3 Parámetros de diseño para el PCB

#### 2.11.3.1 Calculo de ancho de pista

Un parámetro principal del diseño de una PCB es el ancho de pista según la corriente a circular por la misma lo que es fundamental para el funcionamiento optimo

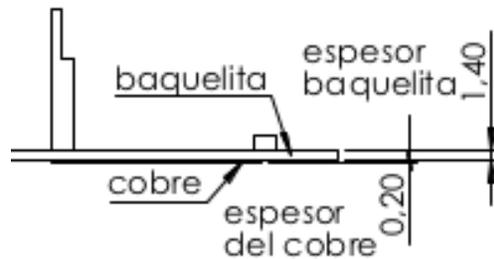


Figura 77.Elementos de la baquelita

Para obtener el espesor del cobre se lo mide mediante un calibrador que es de 0.2 mm la definición de la corriente que circula en una área es:

**Tabla 50**  
Ancho de pista.

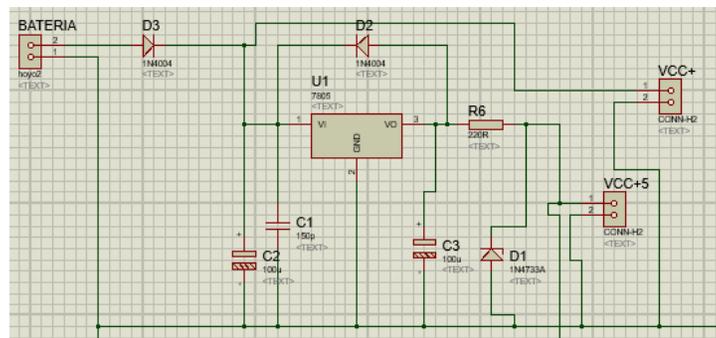
espesor[mm]	corriente [mA]	resultado ancho	Mm
0,2	1000	1,478	Mm
0,2	500	0,739	Mm
0,2	300	0,443	Mm
0,2	100	0,148	Mm
0,2	40	0,059	Mm
0,2	30	0,044	Mm
0,2	20	0,030	Mm
0,2	10	0,015	Mm
0,2	5	0,007	mm

En conclusión el ancho de la pista máxima es de un milímetro y medio por lo que el diseño se establece de este valor como mínimo en la fuente y en el control de potencia, otro el valor mínimo establecido importante en la tabla es de cinco miliamperios con su correspondencia en anchura de la pista, el problema se genera en la PCB por lo que se opta a valores mayores a medio milímetro esto debido a su fabricación y seguridad en la generación de pista .

#### 2.11.4 Diseño de las etapas del circuito

Para conveniencia y reducir el espacio de las placas electrónicas se fusionaron la etapa de alimentación eléctrica con la etapa de entrada en la cual se encuentra los sensores y pulsadores

Etapa de alimentación y, de entrada



**Figura 78** Etapa de alimentación

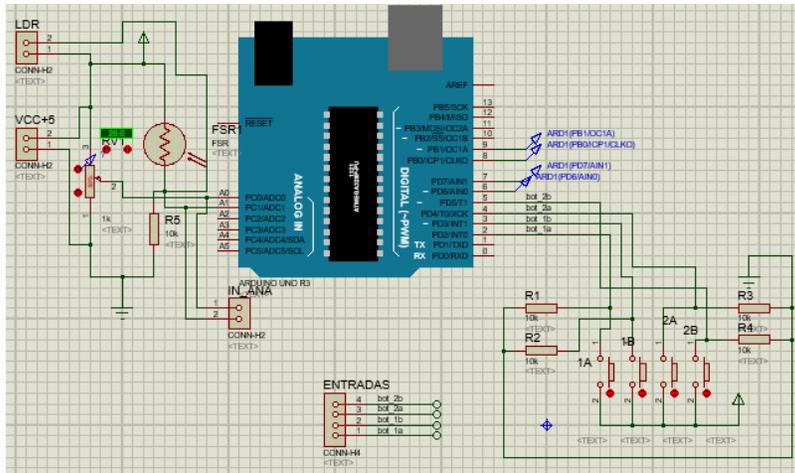


Figura 79 Etapa de entradas digitales y análogas

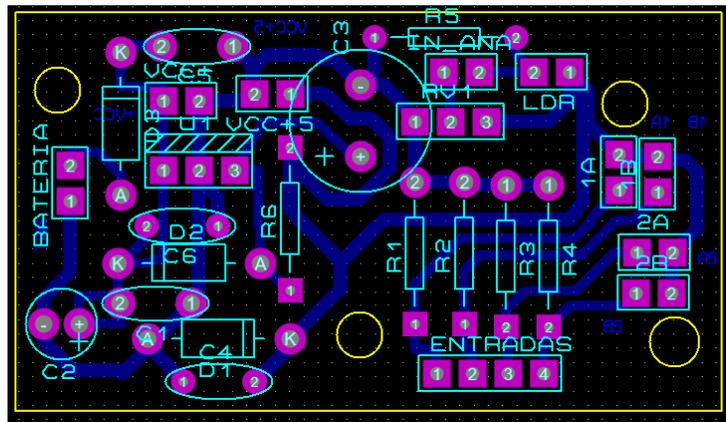


Figura 80 Pcb

Etapa de potencia

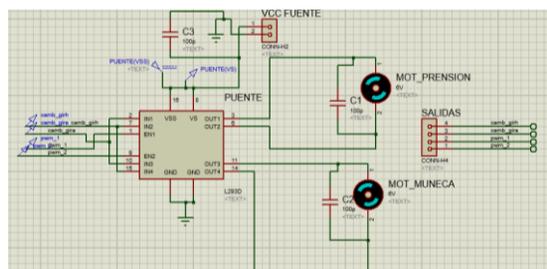
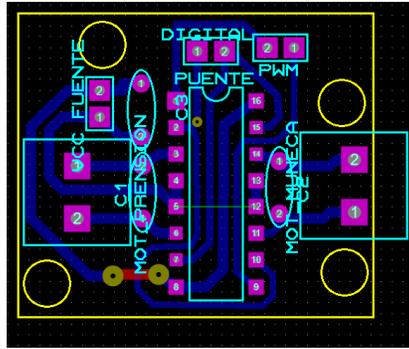
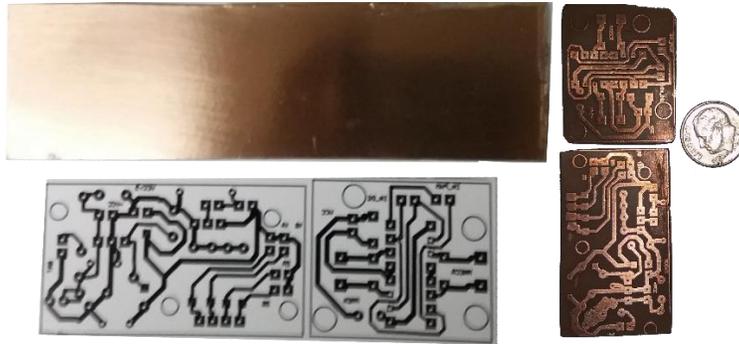


Figura 81 Simulación de la etapa



*Figura 82* Diseño del circuito impreso

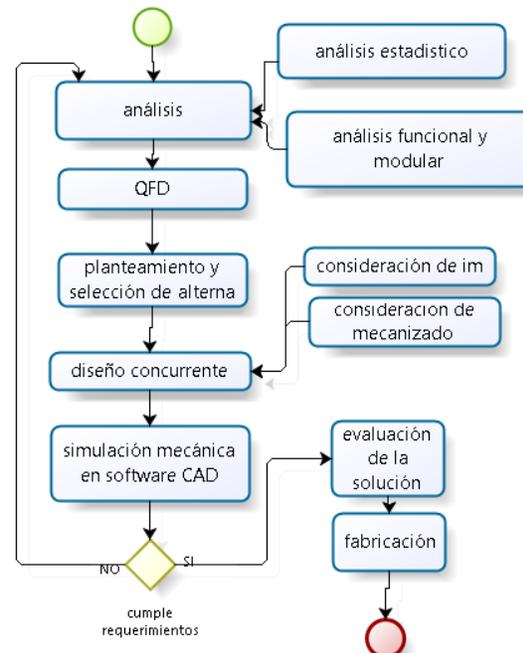


*Figura 83* Fabricación de las tarjetas de control y de potencia

## CAPÍTULO III

### 3 ENSAMBLE, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

#### 3.1 Proceso de construcción



*Figura 84.* Proceso general del diseño del dispositivo de prótesis.

#### 3.2 Construcción implementación mecánica y electrónica de la mano robótica.

##### 3.2.1 Construcción mecánica



*Figura 85.* Pintura base para el masillado en las cubiertas



*Figura 86.* Preparación de la plancha de aluminio

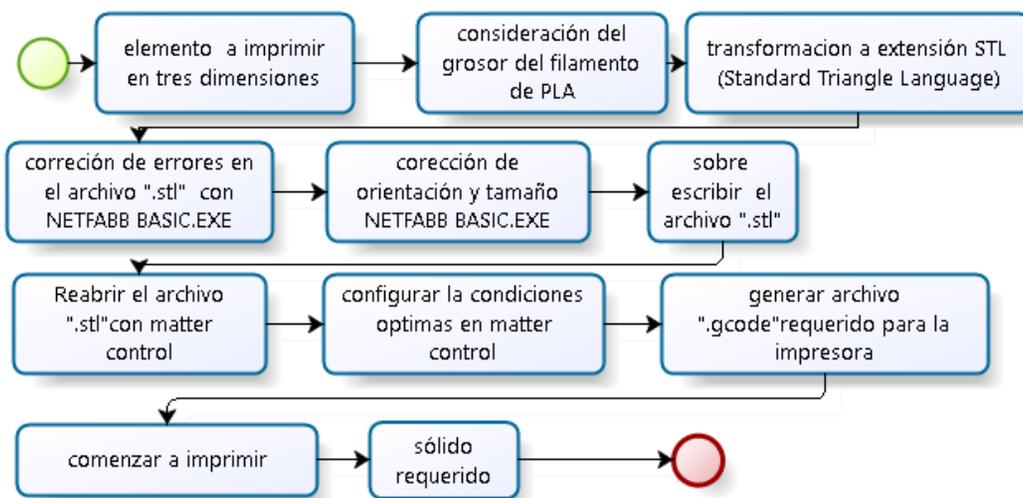


*Figura 87.* Corte mediante plasma



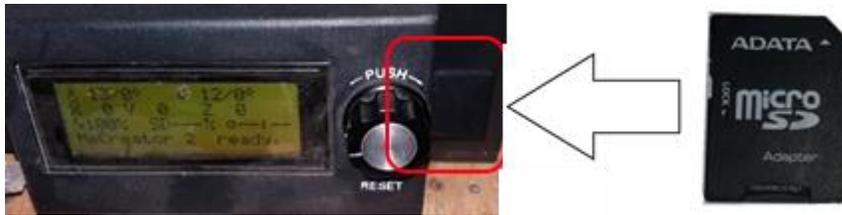
**Figura 88.** Resultado del corte en una plancha de 5 mm de espesor

### 3.2.2 Proceso de fabricación 3D

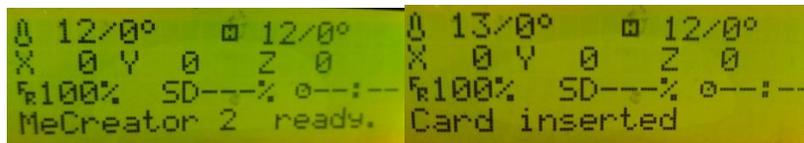


**Figura 89.** Algoritmo de una impresión en 3d.

A continuación, se presenta la creación de sólidos en PLA mediante un proceso de derretimiento que se hace llamar impresiones en tres dimensiones los primeros pasos para la creación es la generación de sólidos en programas de diseño mecánico para luego ser convertidos en archivos “.stl” estos archivos no pueden ser aún leídos por la maquina por lo que se lo transforma en archivos “.gcode”

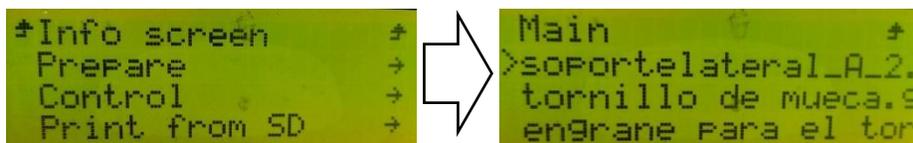


Verificar la lectura de la tarjeta en la parte inferior de la pantalla

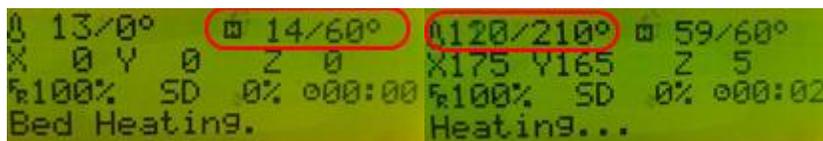


Una vez ubicada la tarjeta SD se selecciona en el menú principal la opción de "Print from SD"

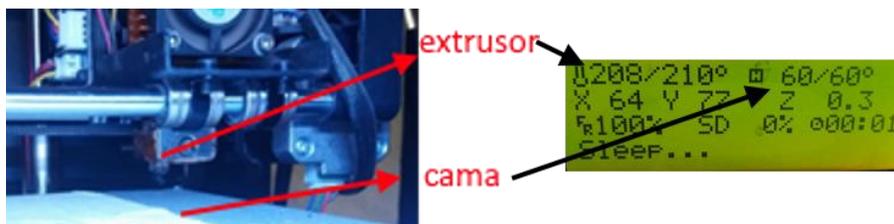
Posterior se selecciona el nombre del archivo para iniciar con la impresión



Al momento de seleccionar el archivo comienza el proceso de impresión con el calentamiento de la plancha o cama de aluminio continuando con el calentamiento del extrusor a doscientos diez grados apropiados para el PLA



Se ubica en el modo home de la impresora y se espera que las condiciones se establezcan



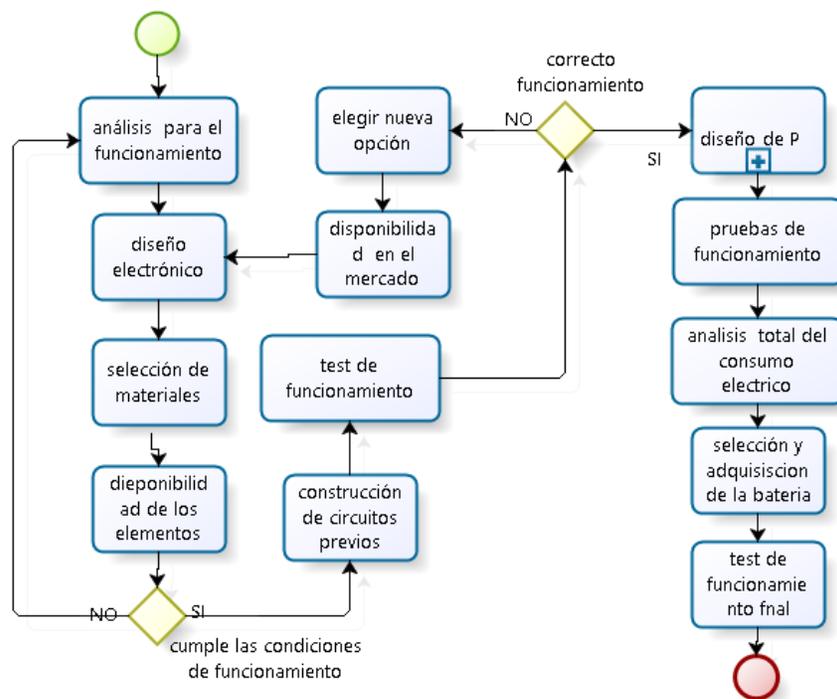
**Figura 90.** Descripción de las temperaturas

La impresión comienza una vez alcanzada las temperaturas establecidas,

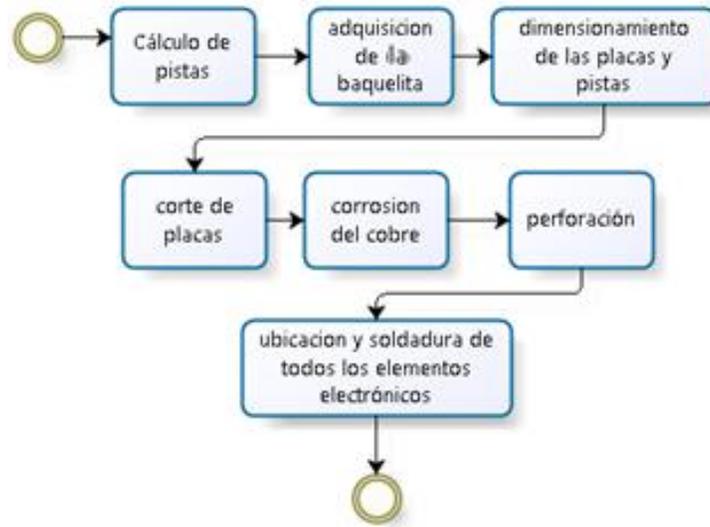


*Figura 91.* Ejecución de la impresión

### 3.2.3 Construcción y ensamblaje electrónico



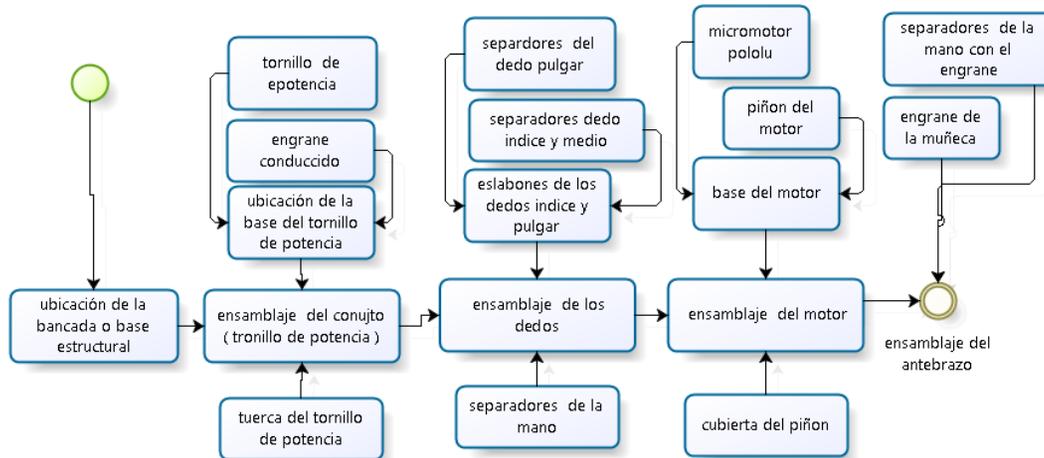
*Figura 92.* Flujo de trabajo del diseño electrónico.



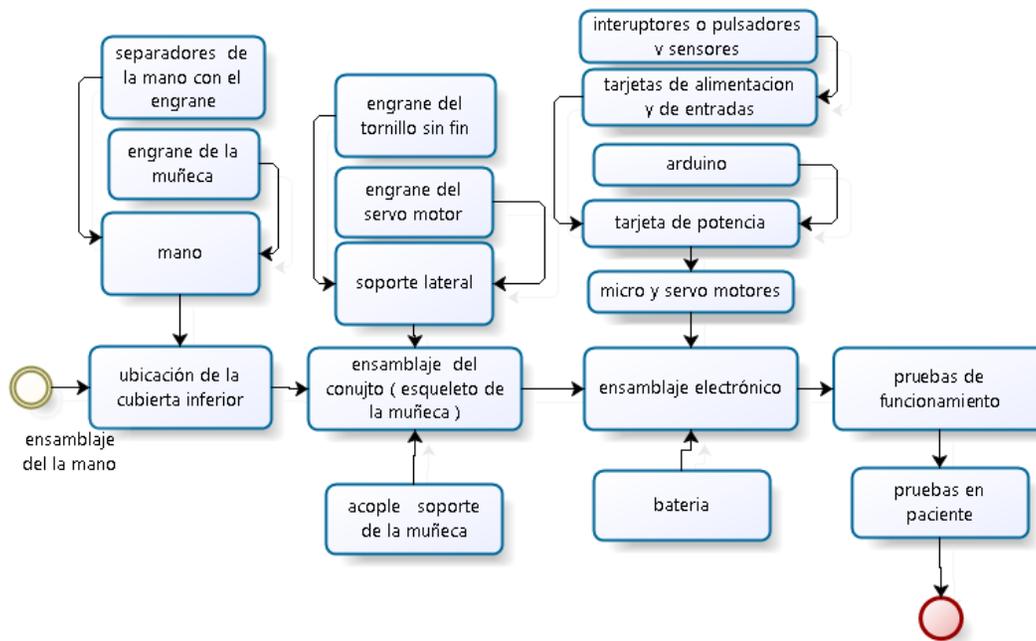
**Figura 93** Algoritmo del diseño de un PCB

### 3.3 Ensamblaje final de la mano robótica y validación del diseño.

Para una mejor funcionalidad del dispositivo se ejecuta n dos partes la primera y fundamental es el ensamblaje de la mano con los dedos tal como se muestra en la Figura 94. una vez obtenido el ensamblaje se procede con implementación de la muñeca qu se muestra en la Figura 95



**Figura 94.** Ensamblaje de la mano y los dedos



**Figura 95.** Flujograma del ensamblaje protesis tipo Gripper

### 3.4 Validación de la hipótesis

Hipótesis: *Mientras el diseño de la mano robótica sea tipo Gripper y accionada por interruptores, su función será más fiable, segura y reproducible; así como su implementación y mantenimiento serán más sostenibles.*

**Tabla 51**

*Validación del diseño en función del resultado físico.*

Descripción del diseño	Desempeño
Transmisión cálculos y geometría	10
Auto bloqueo	10
Sujeción de elementos	8
Precisión n sujeción de objetos	7
Ruido	4
Promedio	7,8

Categoría de elementos usados en la mano tipo Gripper

**Tabla 52***Materiales usados en el diseño y en la fabricación de la mano.*

Elemento	Elemento de diseño	Elemento usado	Relación del elemento	Desempeño	Criterio
Dedos	Abs	Aluminio	Sy(aluminio /abs)	1166,67	10
Tendones	Abs	PLA	Sy(PLA /abs)	1,72	7
Base de la mano	Abs	Aluminio	Sy(aluminio /abs)	1166,67	10
Transmisión	Aluminio	Acero AISI 1018	Sy(acero/aluminio)	2,86	8
Engranés	Abs	PLA	Sy(PLA /abs)	1,72	7
Separadores	Abs	PLA	Sy(PLA /abs)	1,72	7
Pasador	Aluminio	Acero AISI 1018	Sy(acero/aluminio)	2,86	8
			Promedio		8,14

**Tabla 53***Materiales usados en el diseño y en la fabricación de la muñeca.*

Elemento	elemento de diseño	elemento usado	relación del elemento	desempeño	Criterio
soportes laterales	ABS	PLA	Sy(PLA /ABS)	1,72	8
Pasador	aluminio	acero AISI 1018	sy(acero/aluminio)	2,86	9
transmisión	Aluminio	acero AISI 1018	sy(acero/aluminio)	2,86	9
engranés	ABS	PLA	Sy(PLA /ABS)	1,72	8
separadores	ABS	PLA	Sy(PLA /ABS)	1,72	8
Tapas	ABS	Aluminio	Sy(aluminio /ABS)	1166,67	10
Cubiertas	ABS	PLA	Sy(PLA /ABS)	1,72	8
			Promedio		8,6

Para poder establecer si el diseño se logró según los parámetros establecidos se tomara un resultado promedio de las tres tablas adquiridas para la satisfacción del modelo para su validación

### ***Validación del diseño 8,18***

El diseño adquirido es mayor a cincuenta por ciento lo que es una descripción aceptable a sobresaliente ya que cumple con los requerimientos del director del proyecto para validar un buen diseño Mecatrónico y por ende se puede validar la hipótesis

Validación hipótesis: en el diseño de la mano robótica tipo Gripper se optó por un diseño similar a la de un Gripper con un tornillo de potencia en el centro cuyas garras representarían los dedos de la mano humana por lo que la sujeción se veía involucrada la solución fue la compensación de longitud del pulgar para establecer un punto único cuyo resultado se observa en la Figura 96 que es un modelo tipo Gripper de tres dedos además la activación se lo solución con pulsadores invalidando la activación propuesta a base de interruptores tal y como se muestra in la Figura 97

además del diseño no solo se lo realizo en PLA si no en aluminio en los las secciones que requieren más esfuerzo siempre observando el factor de seguridad propuesto en el diseño además de su fácil generación en el mecanizado y solo permitir que el proyecto sea realizado en talleres conocidos por su calidad en el trabajo permite entender que las piezas se los realizaría en el mercado nacional o en distribuidoras de equipos eléctricos y electrónicos debido a su buen funcionamiento y pruebas realizadas se demostró que:



*Figura 96.* Modelo tipo Gripper físico en aluminio



*Figura 97.* Pulsadores



*Figura 98.* Micro motor de 1 a 100 de 1.7 kg·cm

Los elementos mostrados en la Figura 96 evidencian las modificaciones para que la mano obtenga un mejor agarre de los objetos

### 3.5 Análisis de costos y resultados

#### 3.5.1 Material mecánico

En la construcción mecánica se procede a la utilización de un taller y de una constructora especializada en mecanizado como es el caso de Constructora Ulloa en el corte plasma. Fresado taladrado, y torneado en talleres (mecánica Martínez) estos locales son especializados en mecanizados en la ciudad de Latacunga (Niagara y La estación respectivamente), la construcción del tornillo de potencia se lo realiza en Ambato en talleres E J Valencia (Huachi chico)

**Tabla 54**

*Costo en materiales mecánicos.*

Material	Característica	Cantidades	Costo
Lamina de aluminio	Rectangular 7076-T6	100x100x3	20,00
Duralón	Cilindro de 100 mm X 30mm		3,00
Acero AISI 1018	AISI 1018	300mm	30,00
Fresadora	Servicio		40,00
Taladrado	Servicio		40,00
Torneado	Servicio		60,00
Impresiones 3D para prototipo	Diferentes formas	120gr	36,00
Tornillos	M3x40		4,00
Total			233,00

#### 3.5.2 Material eléctrico y electrónico

**Tabla 55**

*Costo en elementos electrónicos pasivos*

Material	Observación	Descripción	costo [USD]
sensor de fuerza	Carga máxima 1kg	10x10x.02	11,00
Resistencias	de 1/4 watio	5x10K $\Omega$	0,25
Resistencia	de 1/2 watio	1x2 $\Omega$	0,80
Resistencia	Variables	1 50k $\Omega$	0,50
Capacitores	0,1uF (104)	2	0,80
<b>Total</b>			<b>13,35</b>

**Tabla 56***Costo en elementos electrónicos activos*

<b>Material</b>	<b>Observación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Regulador [7805]	1 A como mínimo	1 cant	1,50
Diodos rectificadores	protección desde 1 A	2 unidades	0,10
Diodo	Zener de 5,1 V a 49ma	1 unidad	0,20
Puente H	L293d- (2 x 800ma)	1 unidad	3,50
<b>Total</b>			<b>5,30</b>

**Tabla 57***Costo en elementos electrónicos .*

<b>Material</b>	<b>Observación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Baquelita	Rectangular	10x10x.02	1,50
Elementos electrónicos	Pasivos		13,35
Elementos electrónicos	Activos		5,30
Batería de Lipo	7,4 V 2000mah	1 cant	20,00
Cargador de batería	Cargador de 2 y 3 celdas	1 cant	15,00
Servomotores	Servo (towerpro)	1unidad (MG996R)	15,00
Micro motor	Motor pololu	1 cant	13,00
Micro interruptores	Pulsadores	5 cant	2,50
Cables	Variado		4,40
Arduino	Pro mini	1 cant	10,00
Bluethoot	Modulo	1 cant	10,00
Borneras	2,3 y 4 pines		0,60
Espadines	Hembra y macho		6,00
<b>Total</b>			<b>116,65</b>

### 3.5.3 Mano de obra

Dentro de este costo esta involucrado en el servicios o medios en los cuales se obtuvo la información general y basado en criterios personales

**Tabla 58***Costo en el diseño intangible.*

<b>Actividad</b>	<b>Dificultad</b>	<b>Descripción del costo</b>	<b>Costo</b>
Indagación de información	Encuesta personal		20,00
Diseño, simulación, validación de alternativas adecuadas	Encaje de elementos	Reestructuración constante del diseño	10,00
Adquisición de la estructura	Adquisición de elementos adecuados	Movilización	20,00
Construcción de elementos	Lectura de plano	Sobre dimensionamiento	4,00
<b>Total</b>			<b>54,00</b>

### 3.5.4 Costo total

**Tabla 59**

*Costo en elementos electrónicos.*

	<b>costo total</b>
Costo en materiales mecánicos	233,00
Costo en elementos electrónicos	116,65
Costo mano de obra	54,00
Maquinaria arrendamiento	23,00
<b>Total</b>	<b>426,65</b>

### 3.5.5 Resultados

#### 3.5.5.1 Eléctricos

Los circuitos eléctricos fueron el resultado de experiencias realizadas dentro del conocimiento de ingeniería electrónica para la reducción de la placa y la utilización de control arduino

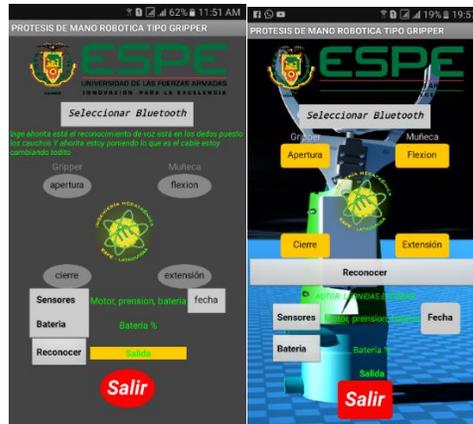


*Figura 99* Circuito eléctrico para el montaje en la prótesis

#### 3.5.5.2 Software y programación

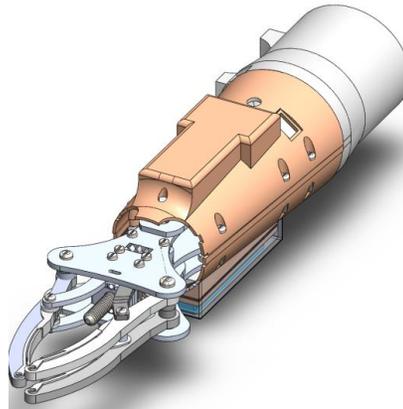
Como resultado final para el control de mandos de la prótesis se optó por la activación de botones mediante la interacción de un celular con sistema Android al continuar con la investigación se dio a conocer de la capacidad de reconocimiento de voz por lo que se optó por añadir dentro de

la programación siendo esta una alternativa mucho más fiable para el control e interacción con el usuario



**Figura 100** Pantalla capturada del telefono con reconocimiento de voz (reconocer)

### 3.5.5.3 Mecánico



**Figura 101.** Diseño final de la prótesis



*Figura 102* Instalacion de la cubierta en los dedos



*Figura 103.* Primer prototipo para pruebas de mecanismo



*Figura 104.* Ubicacion del muñon en el primer prototipo de acople



*Figura 105.* Acople del dispositivo al muñón del paciente



*Figura 106.* Diseño final y resultado

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones.

Para resaltar estéticamente este dispositivo se realizó un proceso: conformado por: recubrimiento de masilla, lijado, pintado y secado; el color piel con pintura sintética conformado por tres colores blanco rojo y marrón.

Se verifico que la resistencia de los elementos hechos en PLA varia en su densidad de impresión a mayor densidad mayor es su resistencia.

El diseño de un dispositivo se basó en pruebas y errores que se han modificado para mejorar y proporcionar un resultado favorable como es el caso de las cubiertas, en la forma de la estructura de la muñeca y en al acople con el paciente.

Un Arduino presenta características de estabilidad en el funcionamiento, se demostró que la selección de este dispositivo depende del uso de la memoria y de las dimensiones físicas en relación con el proyecto final.

Los primeros prototipos permitieron obtener una mejor comprensión física del dispositivo final y validar un diseño si se mantiene hasta el final y se comprueba que se realizó un buen diseño desde el inicio hasta la parte final como es el caso del tornillo de potencia y carcasas de protección

Para sujetar de mejor manera se implementó un caucho en la parte del Gripper que se muestra en la Figura 102.

La universalidad del dispositivo embarca un cambio particular en la prótesis que involucra a la creación de un nuevo muñón pero que se acoplara de acuerdo al nuevo paciente

La sola interacción del dispositivo con interruptores quedó descartada debido a problemas en programación y en construcción por lo que se cambió a pulsadores para mejorar y optimizar la programación

Para poder supervisar el correcto funcionamiento se generó un medio de comunicación con el teléfono mediante serial 232 con conexión a bluetooth que maneja una señal segura para los usuarios.

Generación de una pantalla de pruebas que permitieron supervisar y controlar el dispositivo

Se avanza con el reconocimiento de voz para que el paciente pueda liberar las manos mediante audífonos

## **4.2 Recomendaciones.**

Los elementos que se mecanizan deben ser iguales al diseño y considerar las características físicas de las maquinas que intervienen en el proceso de fabricación como es el caso de la impresora y en la cortadora por plasma para evitar errores en el elemento a fabricar

Para poder imprimir en PLA se debe considerar la temperatura de trabajo ya que solo mantienen su forma física hasta aproximado los cien grados Celsius al superar este valor.

El triángulo es la figura geométrica más sencilla y a la ves estable

En el diseño se debe considerar los elementos estándares que no varían en las pruebas es decir no se puede hacer cambios en sus dimensiones

El acero AISI 1018 es uno de los elementos más comunes y más favorables en el mecanizado de tornillos y ejes de transmisión.

Para aumentar la velocidad de cierre de los dedos se opta por cambio de motor o el cambio de engranes equiparando los diámetros Figura 29

En la manipulación del dispositivo no permite sumergir el agua o estar en lugares que interactúen con un líquido.

Lubricar cada tres meses (recomendado por talleres) si el contacto es metal-metal

Cargar la batería cuando su valor sea menor a 70 % para mantener operativo el dispositivo se pulsando el botón sensores de Figura 100 cuando el dispositivo esté conectado mediante bluetooth al teléfono.

Cambiar engranes de plástico por material metálico para mayor eficiencia

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D.com, i. (s.f.). *Filamento PLA: Consejos, Características*. Recuperado el 13 de Dic. de 2016, de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/122774855-filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas>
- ALVARADO, F. A. (2011). *Mano robotica inalámbrica*. GUAYAQUIL: Universidad Politecnica Salesiana .
- Amputee Coalition of the america in partership. (12 de Julio de 2014). *The wonderful world of cosmetics*. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://www.amputee-coalition.org/military-instep/cosmesis.pdf>
- Andino, E. F. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de control para mano*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Andrade Zeas, D. M., & Zúñiga Tenesaca, D. A. (2011). *Diseño Y Construcción De Una Mano Robótica Para La Enseñanza Del Alfabeto Dactilológico Universal Para Personas Sordomudas*. Cuenca: Universidad Politecnica salesiana.
- Andrei Hower, C. J., Correa Arroyave, C. A., & Pareja Rodríguez, C. U. (2012). *Análisis y diseño de un prototipo de una mano robótica*. Pereira - Colombia: Universidad Tecnológica De Pereira.
- Arduino. (s.f.). *Arduino leonardo*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://arduino.cl/arduino-leonardo/>
- BECUO. (s.f.). *Arduino R3 dimensions*. Recuperado el 30 de Marzo de 2017, de <http://becuo.com/arduino-uno-r3-dimensions>

Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana.

Burgos, C. A. (2010). *Diseño Y Construcción De Una Prótesis Robotica De Mano*. Bogota .

*CBS Miami*. (25 de 07 de 2015). Obtenido de Fort Lauderdale Woman Receives Top Of The Line Bionic Hand: <http://miami.cbslocal.com/2015/07/21/fort-lauderdale-woman-receives-top-of-the-line-bionic-hand/>

*CBSnews*. (22 de 07 de 2015). Obtenido de First woman to receive most advanced bionic hand: <http://www.cbsnews.com/news/first-woman-to-receive-most-advanced-prosthetic-hand/>

Correa Arroyave, C. A., Hower Ceballos, J. E., & Pareja Rodríguez, C. U. (2012). *Análisis y diseño de un prototipo de una mano robótica con catorce grados de libertad, capaz de ser dirigida a través de internet en tiempo real*. Pereira: Universidad Tecnológica De Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2690/629892H859.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

David H, M. (2012). *Maquinas y Mecanismos*. Mexico: Pearson.

Electronics, p. r. (s.f.). *Micromotores*. Recuperado el 07 de agosto de 2018, de <https://www.pololu.com/product/3065#lightbox-picture0J6410;main-pictures>

*Fisioterapia*. (18 de Febrero de 2013). Recuperado el 15 de febrero de 2017, de Prótesis Mioeléctrica: <http://fisioterapia.blogspot.com/2013/02/las-protesis-mioelectricas.html>

Gonzales, V. R. (2003). *Elementos terminales y efectores finales*. Recuperado el Mayo de 2017, de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/sistema/terminal.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/terminal.htm)

Gripper. (s.f.). *Grabcad*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, de [https://grabcad.com/library?page=1&time=all\\_time&sort=recent&query=gripper](https://grabcad.com/library?page=1&time=all_time&sort=recent&query=gripper)

Grupo TRANSMERQUIM. (2014). Hoja de datos de seguridad. *Características de la fibra de vidrio*, 1-5. Recuperado el Marzo de 2017

Herrick, J. (s.f.). *Wiki-How*. Recuperado el 12 de 06 de 2107, de <http://es.wikihow.com/leer-las-especificaciones-de-las-roscas-de-tornillos>

Hetpro.com.mx. (s.f.). *Arduino y microcontroladores*. Recuperado el 12 de julio de 2017, de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/arduino-vs-microcontrolador/>

HIMDEL. (s.f.). *Instrucciones de uso y seguridad para baterías de lipo*. Recuperado el 18 de Agosto de 2017, de <http://www.webaero.net/aeromodelismo/download/ficheros/Documentacion/Manual%20baterias%20Lipo.pdf>

*Impresiones3D.com*. (19 de junio de 2013). Recuperado el 17 de noviembre de 2016, de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102837127-abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas>

IVANBOHMAN. (s.f.). *Catálogo AISI 1018*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/1018.pdf>

J.M.Hughes. (s.f.). *Safari*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2017, de <https://www.safaribooksonline.com/library/view/arduino-a-technical/9781491934319/ch04.html>

Martínez, J. (20 de 06 de 2015). *Diseño e Implementación de un Brazo Robot Para Discapacitados*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de pendiente

Mexico, Universidad Nacional Autonoma. (1 de 12 de 2016). *Revista Digital Univeristaria*.

Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de  
<http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-2d.htm>

MIRABENT, D. J., LLEBOT RABAGLIATI, J. E., & PÉREZ GARCÍA, C. (2008).

Elasticidad:Huesos Musculos,Macromoléculas. En D. J. Mirabent, J. E. Llebot Rabagliati, & C. Pérez García, *Física Para Ciencias De La Vida* (pág. 59). Madrid: Mc Graw Hill.

Obtenido de

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ovCkTEKEmkkC&oi=fnd&pg=PR7&dq=J.+L.+Pons,+Wearable+Robots:+Biomechatronic+Exoskeleton&ots=NyidM\\_UPsx&sig=efI6s8QpLy8EWQPu0GGKiqqd9Dw#v=onepage&q=J.%20L.%20Pons%2C%20Wearable%20Robots%3A%20Biomechatronic%20Exo](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ovCkTEKEmkkC&oi=fnd&pg=PR7&dq=J.+L.+Pons,+Wearable+Robots:+Biomechatronic+Exoskeleton&ots=NyidM_UPsx&sig=efI6s8QpLy8EWQPu0GGKiqqd9Dw#v=onepage&q=J.%20L.%20Pons%2C%20Wearable%20Robots%3A%20Biomechatronic%20Exo)

Molina Beltrán, F. B., & Ronquillo Curicho, D. M. (agosto de 2015). *Diseño E Implementación*

*De Dos Manos Robóticas, Controladas Por Teclado Y Voz Mediante Android, Para Realizar Operaciones Matemáticas Básicas En La Unidad Educativa Especializada*

*Cotopaxi*. Recuperado el 19 de Agosto de 2017, de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10565/1/AC-ESPEL-MEC-0062.pdf>

Murillo Mantilla, L. A., & Monar Naranjo , M. B. (2015). *Diseño y construcción de una prótesis*

*biónica de mano de 7 grados de libertad utilizando materiales inteligentes y control mioeléctrico adaptada para varios patrones de sujeción. Latacunga: universidad de las*

*fuerzas armadas espe-latacunga* . Latacunga: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-LATACUNGA.

OMEGA. (2003). *Introducción a Las Pinzas (Grippers)*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de

<http://mx.omega.com/prodinfo/pinzas-grippers.html>

- Ortega, D. E. (1985). *Conocimiento de nuestro cuerpo y sus cuidados*. Barcelona- España: Mundilibros. Recuperado el 12 de Junio de 2017
- PI, R. (s.f.). Recuperado el 04 de Febrero de 2017, de <https://www.raspberrypi.org/>
- Roa, M. (2008). *Medidas de Calidad para la Prension de Objetos*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Robotcrya (Productor). (2013). *Prótesis, Mano Robot - Robotica Crya* [Película]. Recuperado el 1 de DICIEMBRE de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=2ApFIVKz4H0>
- Robotha- Robot Humano Asistencial. (s.f.). *Prótesis mioeléctricas*. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://robotha.com/mioelectrica.htm>
- Romeva, C. R. (2002). *Ingenieria concurrente*. Catalunya : Edicions UPC.
- Shigley, E. J., & Uicker, J. J. (2001). *Teoría de máquinas y mecanismo*. Mexico: McGraw-hill.
- Superior, P. D. (2009). *Niveles De Amputación Miembro Superior*. Obtenido de <http://protesismmssuner.blogspot.com/2009/10/niveles-de-amputacion-miembro-superior.html>
- telégrafo, E. (24 de Julio de 2013). *Las prótesis de piernas son las más requeridas*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2016, de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/las-protesis-de-piernas-son-las-mas-requeridas>
- TowerPro.com.tw. (s.f.). *Onlineshop*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de <http://www.towerpro.com.tw/product/mg995-robot-servo-180-rotation/>

UNAM, R. (28 de Octubre de 2011). *Rehabilitación Que Mira Al Futuro*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de <http://www.rehabilitacionblog.com/2011/10/la-protesis-bionica-del-dr-todd-kuiken.html>

Universidad de Buenos Aires. (5 de octubre de 2011). *Prótesis biónicas y su adaptación a las personas*. Recuperado el 19 de febrero de 2017, de <http://bioprotesis.blogspot.com/2011/10/protesis-mioelectricas-reinervacion.html>

WIKIPEDIA. (s.f.). *Cloruro de hierro*. Recuperado el 3 de enero de 2017, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_hierro\\_\(III\)#Aplicaciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_hierro_(III)#Aplicaciones)

wikipedia. (s.f.). *Motor lineal*. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_lineal](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_lineal)

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el señor **Escobar Espin, Leonidas Gabriel**

En la ciudad de Latacunga, a los 07 días del mes de septiembre del 2018.

Aprobado por,

Ing. Félix J. Manjarrés A. M.Sc.  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Vicente Hallo C.  
**DIRECTOR DE CARRERA**

Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

