



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT DIDÁCTICO QUE ENSEÑE MEDIANTE EL LENGUAJE DE SEÑAS A NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA DE EDUCACIÓN INICIAL”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**AUTOR:** RICHARD JAVIER TUAPANTA PUNINA

**DIRECTOR:** ING. FAUSTO CABRERA M.ENG.

**Riobamba – Ecuador  
2021**

**©2020, Richard Javier Tuapanta Punina**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Richard Javier Tuapanta Punina, declaro que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 4 de noviembre de 2020.

**Richard Javier Tuapanta Punina**

**0202387692**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Tecnológico, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT DIDÁCTICO QUE ENSEÑE MEDIANTE EL LENGUAJE DE SEÑAS A NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA DE EDUCACIÓN INICIAL”**, de responsabilidad del señor **RICHARD JAVIER TUAPANTA PUNINA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos , técnicos , legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b> <b>(año-mes-día)</b>
<b>ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO</b> <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
<b>ING. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO</b> <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
<b>ING. PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ</b> <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

## **DEDICATORIA**

Este logro lo dedico primeramente a Dios por bendecirme y guiarme en cada etapa de mi vida, por llenarme de sabiduría para seguir adelante en cada uno de los pasos que he dado en el transcurso de mis estudios, a mi madre por su amor y apoyo incondicional, a mi esposa por ser pilar fundamental y base de sabiduría y en si a toda mi familia por su cariño incondicional se los dedico con amor.

Richard

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por este logro, él ha permitido que las cosas se den de esta manera, ha puesto la inteligencia y sabiduría en mí para llegar a una meta y estoy feliz por esto, sin él nada de esto se hubiera cumplido. A mi familia por siempre estar en mis victorias y derrotas, a mi esposa por apoyarme día a día no tengo como pagar todo lo hicieron por mí, a mis compañeros, a mis amigos que me han dado su apoyo y los ingenieros que supieron darnos su apoyo en este tiempo.

Richard

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDECE DE ANEXOS .....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Discapacidad .....	3
1.1.1. <i>Tipos de discapacidad</i> .....	3
1.1.1.1. Discapacidad física o motora.....	3
1.1.1.2. Discapacidad sensorial .....	3
1.1.1.3. Discapacidad intelectual .....	4
1.1.1.4. Discapacidad mental.....	4
1.1.2. <i>La discapacidad y sus efectos en la sociedad</i> .....	4
1.1.3. <i>Métodos para la educación de personas con discapacidad auditiva</i> .....	4
1.1.3.1. Método oralismo.....	5
1.1.3.2. Método gestual .....	5
1.1.3.3. Método lecto-escritura .....	6
1.1.4. <i>Materiales para la educación de personas con discapacidad auditiva</i> .....	7
1.1.4.1. Materiales impresos .....	7
1.1.4.2. Materiales gráficos .....	7
1.1.4.3. Materiales de audiovisual .....	7
1.1.4.4. Materiales permanentes .....	7
1.1.5. <i>Clasificación de los materiales didácticos orientados a la discapacidad auditiva</i> .....	7
1.2. Robots .....	9
1.2.1. <i>Tipos de robot</i> .....	9
1.2.1.1. Robot móvil .....	9
1.2.1.2. Robot Manipulador.....	10
1.2.1.3. Robot Humanoide.....	10

<b>1.2.2.</b>	<b><i>Tipos de robot humanoide</i></b> .....	<b>10</b>
1.2.2.1.	Robot humanoide bípedo.....	10
1.2.2.2.	Robot humanoide con ruedas.....	11
<b>1.2.3.</b>	<b><i>Grados de libertad</i></b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.4.</b>	<b><i>Robots en la educación</i></b> .....	<b>12</b>
1.2.4.1.	Robot educativo WEDO.....	12
1.2.4.2.	Robot educativo NAO.....	12
1.2.4.3.	Robot Educativo Mini Darwin.....	13
1.2.4.4.	Robot Inmoov.....	13
<b>1.2.5.</b>	<b><i>Aplicaciones de los Robots</i></b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.6.</b>	<b><i>Modelo cinemático y dinámico del robot</i></b> .....	<b>14</b>
1.2.6.1.	Cinemática.....	14
1.2.6.2.	Dinámica.....	18
<b>1.3.</b>	<b>Hardware</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.1.</b>	<b><i>Microcontrolador</i></b> .....	<b>20</b>
1.3.1.1.	Características del microcontrolador.....	20
<b>1.3.2.</b>	<b><i>Arduino</i></b> .....	<b>21</b>
1.3.2.1.	Componentes del microcontrolador Arduino.....	22
<b>1.3.3.</b>	<b><i>Servomotores</i></b> .....	<b>23</b>
1.3.3.1.	Componentes.....	23
1.3.3.2.	Funcionamiento.....	23
<b>1.3.4.</b>	<b><i>Impresora 3D</i></b> .....	<b>24</b>
<b>1.4.</b>	<b>Software</b> .....	<b>25</b>
<b>1.4.1.</b>	<b><i>Android Studio</i></b> .....	<b>25</b>
1.4.1.1.	Interfaz de usuario.....	26
<b>1.4.2.</b>	<b><i>Arduino</i></b> .....	<b>27</b>
<b>1.4.3.</b>	<b><i>Impresora 3D</i></b> .....	<b>27</b>
1.4.3.1.	Programas de modelización en 3D.....	27
<b>CAPÍTULO II</b> .....		<b>29</b>
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.</b>	<b>Requerimientos del sistema</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.</b>	<b>Descripción general del dispositivo</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.</b>	<b>Concepción general del dispositivo</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Etapa Selección e Impresión de las piezas</i></b> .....	<b>31</b>
2.3.1.1.	Selección del material adecuado para la impresión 3D.....	31
2.3.1.2.	Seleccionar las piezas digitales del brazo robótico.....	32
2.3.1.3.	Impresión de las piezas en 3D del brazo robótico.....	33

<b>2.3.2. Etapa Sistema de Control</b> .....	<b>33</b>
2.3.2.1. Modelamiento Cinemático.....	33
2.3.2.2. Modelamiento dinámico inverso .....	40
2.3.2.3. Selección del microprocesador Arduino.....	46
2.3.2.4. Selección de los servomotores.....	47
2.3.2.5. Selección de drivers para servomotores .....	48
2.3.2.6. Selección del módulo de Bluetooth .....	49
2.3.2.7. Selección de la fuente de alimentación.....	50
<b>2.3.3. Etapa de Ensamblaje</b> .....	<b>51</b>
<b>2.4. Diagrama de conexiones</b> .....	<b>53</b>
<b>2.5. Requerimiento de software</b> .....	<b>54</b>
2.5.1. Algoritmo de control del brazo (aplicación móvil) .....	55
2.5.2. Programación en el software Arduino.....	56
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>57</b>
<b>3. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
3.1. Pruebas de alimentación .....	57
3.2. Pruebas de movimiento generando el alfabeto en lenguaje de señas .....	57
3.3. Pruebas de la mano generando los números en lenguaje de señas.....	59
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>63</b>
<b>4. EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....	<b>63</b>
4.1. Análisis de costo.....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>64</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Clasificación de los materiales didácticos orientados a la discapacidad auditiva .....	8
<b>Tabla 2-1:</b> Características de los modelos de Arduino.....	21
<b>Tabla 1-2:</b> Características de los distintos materiales para la impresión.....	31
<b>Tabla 2-2:</b> Propiedades mecánicas de los materiales ABS y PLA.....	32
<b>Tabla 3-2:</b> Parámetros D-H para los dedos que poseen 3 GDL .....	35
<b>Tabla 4-2:</b> Parámetro D-H para el dedo pulgar.....	35
<b>Tabla 5-2:</b> Longitud de las falanges de los dedos .....	37
<b>Tabla 6-2:</b> Calculo de los pesos de cada dedo.....	47
<b>Tabla 7-2:</b> Características Técnicas del Servomotor Hitec HS-311 .....	48
<b>Tabla 8-2:</b> Características técnicas del Driver para servomotores USC32 .....	49
<b>Tabla 9-2:</b> Características técnicas del módulo de Bluetooth HC-06 .....	50
<b>Tabla 10-2:</b> Características técnicas de la fuente de alimentación.....	51
<b>Tabla 1-3:</b> Pruebas del movimiento del alfabeto en lenguaje de señas.....	58
<b>Tabla 2-3:</b> Pruebas del movimiento de los números en lenguaje de señas .....	60
<b>Tabla 3-3:</b> Prueba de normalidad en Shapiro Wilk.....	61
<b>Tabla 4-3:</b> T-Test: One Sample en la mañana.....	62
<b>Tabla 5-3:</b> T-Test análisis estadístico en la mañana.....	62
<b>Tabla 1-4:</b> Costo del prototipo .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Alfabeto dactilográfico .....	6
<b>Figura 2-1:</b> Clasificación de Robots .....	9
<b>Figura 3-1:</b> Robot humanoide bípedo .....	10
<b>Figura 4-1:</b> Robot Humanoide con Ruedas.....	11
<b>Figura 5-1:</b> Grados de libertad .....	11
<b>Figura 6-1:</b> Robot educativo WEDO .....	12
<b>Figura 7-1:</b> Robot educativo NAO.....	13
<b>Figura 8-1:</b> Robot educativo Mini Darwin .....	13
<b>Figura 9-1:</b> Robot Inmoov .....	14
<b>Figura 10-1:</b> Parámetros de D-H para un eslabón giratorio.....	16
<b>Figura 11-1:</b> Interpretación de una cinemática inversa.....	18
<b>Figura 12-1:</b> Microcontrolador Arduino .....	21
<b>Figura 13-1:</b> Componentes del microcontrolador Arduino.....	22
<b>Figura 14-1:</b> Las partes del servomotor .....	23
<b>Figura 15-1:</b> Los colores de los cables del servomotor.....	23
<b>Figura 16-1:</b> Impresora 3D.....	25
<b>Figura 17-1:</b> Ventana principal de Android Studio.....	26
<b>Figura 1-2:</b> Esquema Aplicativo .....	29
<b>Figura 2-2:</b> Etapas del diseño del brazo robótico.....	30
<b>Figura 3-2:</b> Impresión 3D de la palma de la mano.....	33
<b>Figura 4-2:</b> Análisis Anatómico de los dedos .....	34
<b>Figura 5-2:</b> Sistema de coordenadas del dedo.....	34
<b>Figura 6-2:</b> Esquema D-H para de los dedos que poseen 3 GDL .....	34
<b>Figura 7-2:</b> Esquema D-H para el dedo pulgar .....	35
<b>Figura 8-2:</b> Cinemático Inverso de los dedos que poseen 3 GDL .....	38
<b>Figura 9-2:</b> Cinemático inverso del dedo pulgar.....	39
<b>Figura 10-2:</b> Eslabón con masa concentradas de los dedos que poseen 3 GDL .....	40
<b>Figura 11-2:</b> Eslabón con masa concentrada dedo pulgar .....	45
<b>Figura 12-2:</b> Tarjeta Arduino Mega 2560.....	46
<b>Figura 13-2:</b> Servomotor Hitec HS-311.....	47
<b>Figura 14-2:</b> Modulo del driver para servomotores USC32 .....	49
<b>Figura 15-2:</b> Modulo de Bluetooth HC-06 .....	49
<b>Figura 16-2:</b> Fuente de Alimentación .....	50
<b>Figura 17-2:</b> Ensamble de la mano y sus articulaciones .....	51

<b>Figura 18-2:</b> Ensamble del antebrazo .....	52
<b>Figura 19-2:</b> Acople de la mano con el antebrazo .....	52
<b>Figura 20-2:</b> Templado del hilo Nylon .....	52
<b>Figura 21-2:</b> Colocación de la tarjeta Arduino y sus componentes .....	53
<b>Figura 22-2:</b> Ensamble final .....	53
<b>Figura 23-2:</b> Diagrama de conexiones .....	54
<b>Figura 24-2:</b> Diagrama de flujo del algoritmo de control .....	55
<b>Figura 25-2:</b> Diagrama de flujo programación Arduino .....	56
<b>Figura 1-3:</b> Brozo robótico final .....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Resultados del movimiento de las manos con respecto al alfabeto.....	59
<b>Gráfico 2-3:</b> Efectividad del movimiento de las manos con respecto al alfabeto .....	59
<b>Gráfico 3-3:</b> Resultados del movimiento de las manos con respecto a los números .....	60
<b>Gráfico 4-3:</b> Efectividad del movimiento de las manos con respecto los números .....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Matrices de transformacion homogenea.....	5
<b>Ecuación 2-1:</b> Submatriz respecto a la Rotacion y Traslacion .....	5
<b>Ecuación 3-1:</b> Submatriz T.....	5
<b>Ecuación 4-1:</b> Matriz de transformacion D-H .....	6
<b>Ecuación 5-1:</b> Método Newton-Euler.....	; <b>Error! Marcador no definido.</b> 9
<b>Ecuación 6-1:</b> Método Euler-Lagrange .....	; <b>Error! Marcador no definido.</b> 9
<b>Ecuación 7-1:</b> Energía cinética .....	10
<b>Ecuación 8-1:</b> Energía potencial.....	20
<b>Ecuación 9-2:</b> Matriz de transformacion Homogenea D-H (T).....	35
<b>Ecuación 10-2:</b> Matriz con respecto la eslabon 1 del dedo pulgar .....	36
<b>Ecuación 11-2:</b> Matriz con respecto la eslabon 2 del dedo pulgar.....	37
<b>Ecuación 12-2:</b> Matriz con respecto la eslabon 3 del dedo pulgar .....	37
<b>Ecuación 13-2:</b> Resultado de la matriz T del dedo pulgar.....	37
<b>Ecuación 14-2:</b> Extraccion de la posicion final del dedo pulgar (Px) de la matriz T .....	37
<b>Ecuación 15-2:</b> Extraccion de la posicion final del dedo pulgar (Py) de la matriz T .....	37
<b>Ecuación 16-2:</b> Extraccion de la posicion final del dedo pulgar (Pz) de la matriz T.....	37
<b>Ecuación 17-2:</b> Funcion trigonometrica del triangulo ABC.....	38
<b>Ecuación 18-2:</b> Segmentos LA y LAB .....	38
<b>Ecuación 19-2:</b> Triangulo rectangulo BOD y el teorema de Pitagoras.....	38
<b>Ecuación 20-2:</b> Angulo $\beta$ del triangulo rectangulo.....	39
<b>Ecuación 21-2:</b> Angulo $\alpha$ del triangulo rectangulo .....	39
<b>Ecuación 22-2:</b> Angulo $\gamma$ del triangulo rectangulo.....	39
<b>Ecuación 23-2:</b> Angulo de los eslabones de los dedos que poseen 3 GDL .....	39
<b>Ecuación 24-2:</b> Resultado final de los angulos de los eslabones.....	39
<b>Ecuación 25-2:</b> Triangulo rectangulo AOD y el teorema de Pitagoras .....	38
<b>Ecuación 26-2:</b> Angulo $\beta$ del triangulo rectangulo del dedo pulgar.....	40
<b>Ecuación 27-2:</b> Angulo $\alpha$ del triangulo rectangulo del dedo pulgar.....	40
<b>Ecuación 28-2:</b> Angulo $\gamma$ del triangulo rectangulo del dedo pulgar.....	40
<b>Ecuación 29-2:</b> Angulo de los eslabones del dedo pulgar .....	40
<b>Ecuación 30-2:</b> Posicion X2 del centro de gravedad del falange proximal .....	41
<b>Ecuación 31-2:</b> Posicion Y2 del centro de gravedad del falange proximal .....	41
<b>Ecuación 32-2:</b> Posicion X3 del centro de gravedad del falange medial.....	41
<b>Ecuación 33-2:</b> Posicion Y3 del centro de gravedad del falange medial.....	41
<b>Ecuación 34-2:</b> Posicion X3 del centro de gravedad del falange distal.....	41
<b>Ecuación 35-2:</b> Posicion Y3 del centro de gravedad del falange distal.....	41

<b>Ecuación 36-2:</b> Derivacion de X2 del centro de gravedad del falange proximal .....	41
<b>Ecuación 37-2:</b> Derivacion de Y2 del centro de gravedad del falange proximal .....	41
<b>Ecuación 38-2:</b> Derivacion de X3 del centro de gravedad del falange medial.....	41
<b>Ecuación 39-2:</b> Derivacion de Y3 del centro de gravedad del falange medial.....	41
<b>Ecuación 40-2:</b> Derivacion de X3 del centro de gravedad del falange distal .....	41
<b>Ecuación 41-2:</b> Derivacion de Y3 del centro de gravedad del falange distal .....	41
<b>Ecuación 42-2:</b> Energia cinetica de la falange proximal .....	41
<b>Ecuación 43-2:</b> Energia cinetica de la falange proximal reducida.....	41
<b>Ecuación 44-2:</b> Energia cinetica de la falange medial .....	42
<b>Ecuación 45-2:</b> Energia cinetica de la falange distal .....	42
<b>Ecuación 46-2:</b> Energia potencial de la falange proximal .....	42
<b>Ecuación 47-2:</b> Energia potencial de la falange medial.....	42
<b>Ecuación 48-2:</b> Energia potencial de la falange distal.....	42
<b>Ecuación 49-2:</b> Ecuacion de Lagrange torque 1 .....	42
<b>Ecuación 50-2:</b> Derivada de Lagrange torque 1 .....	43
<b>Ecuación 51-2:</b> Segunda derivada de Lagrange del torque 1.....	43
<b>Ecuación 52-2:</b> Derivada parcial de Lagrange del torque 1.....	43
<b>Ecuación 53-2:</b> Torque de Euler-Lagrange del torque 1.....	43
<b>Ecuación 54-2:</b> Derivada de Lagrange torque 2 .....	43
<b>Ecuación 55-2:</b> Segunda derivada de Lagrange del torque 2.....	43
<b>Ecuación 56-2:</b> Derivada parcial de Lagrange del torque 2.....	44
<b>Ecuación 57-2:</b> Torque de Euler-Lagrange del torque 2.....	44
<b>Ecuación 58-2:</b> Derivada de Lagrange torque 3 .....	44
<b>Ecuación 59-2:</b> Segunda derivada de Lagrange del torque 3.....	44
<b>Ecuación 60-2:</b> Derivada parcial de Lagrange del torque 3.....	44
<b>Ecuación 61-2:</b> Torque de Euler-Lagrange del torque 3.....	44
<b>Ecuación 62-2:</b> Energia cinetica de las falanges del dedo pulgar.....	45
<b>Ecuación 63-2:</b> Energia potencial de la falange proximal del dedo pulgar .....	45
<b>Ecuación 64-2:</b> Energia potencial de la falange medial del dedo pulgar.....	45
<b>Ecuación 65-2:</b> Ecuacion de Lagrange torque 1 .....	45
<b>Ecuación 66-2:</b> Torque 1 de Euler-Lagrange .....	46
<b>Ecuación 67-2:</b> Torque 2 de Euler-Lagrange .....	46
<b>Ecuación 68-2:</b> Formula del torque .....	47
<b>Ecuación 69-2:</b> Torque del dedo medio.....	47
<b>Ecuación 1-3:</b> Efectividad .....	45

## **ÍNDECE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** Característica técnica del Arduino Mega 2560
- ANEXO B:** Característica Técnica del Servomotor
- ANEXO C:** Característica técnica de la Fuente de Alimentación
- ANEXO D:** Interfaz gráfica de la APP

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>GHz:</b>	Gigahertz
<b>GPIO:</b>	Entrada/Salida de Propósito General
<b>HMDI:</b>	Interfaz multimedia de alta definición (High Definition Multimedia Interface)
<b>KHz:</b>	Kilohertz
<b>GDL:</b>	Grados de libertad
<b>PWM:</b>	Modulación por Ancho de Pulso
<b>CC:</b>	Corriente Continua
<b>USB:</b>	Bus Serial Universal (Universal Serial Bus)
<b>GB:</b>	Gigabytes
<b>GHz:</b>	Gigahertz
<b>GPIO:</b>	Entrada/Salida de Propósito General
<b>HMDI:</b>	Interfaz multimedia de alta definición (High Definition Multimedia Interface)
<b>KHz:</b>	Kilohertz
<b>D-H:</b>	Denavit Hartenberg
<b>CC:</b>	Corriente Continua
<b>CONADIS:</b>	Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>ms:</b>	milisegundos
<b>CAD:</b>	Diseño Asistido por Ordenador
<b>IDE:</b>	Entorno de Desarrollo Integrado
<b>APP:</b>	Aplicación
<b>ABS:</b>	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
<b>PLA:</b>	Ácido Poliláctico
<b>STL:</b>	Stereo Lithography
<b>mA:</b>	Miliamperios
<b>mm:</b>	Milímetro
<b>TX:</b>	Transmisión
<b>V:</b>	Voltaje
<b>S:</b>	Segundo
<b>Cm:</b>	Centímetro
<b>μs:</b>	Microsegundo
<b>g:</b>	Gramo

## **RESUMEN**

Se implementó un robot didáctico que facilite la enseñanza del lenguaje de señas a niños con discapacidad auditiva, este prototipo cuenta con varias etapas como: Hardware (impresión y ensamblaje), Software (APP), Control y Comunicación. Para la etapa de Hardware inicialmente se seleccionó los brazos del robot humanoide InMoov el cual se conforma de 6 piezas respectivamente para posteriormente proceder con la impresión realizada con material biodegradable, una vez finalizada se procedió con el ensamblaje incluyendo en su interior una tarjeta de desarrollo Arduino (dispositivo controlador), actuadores, módulo de Bluetooth y drivers para servomotores. Para la etapa del Software se diseñó una aplicación móvil en el programa Android Studio que sirve como interfaz para la interacción del usuario con el robot didáctico, la cual permite ingresar comandos de voz y texto (alfabeto dactilográfico, números). Para la etapa de control se realizó un algoritmo en el software Arduino para gestionar los servomotores y así realizar los movimientos de las manos y generar el lenguaje de signos. Finalmente, en la etapa de comunicación el controlador recibe las señales de la aplicación a través de un módulo de comunicación Bluetooth haciendo que el microcontrolador envíe órdenes a los servomotores (10 por cada brazo) para que los mismos puedan replicar los movimientos en lenguaje de señas. Como resultado de las pruebas se obtuvo una precisión del 89% en la reproducción de los movimientos del alfabeto dictalográfico y números. Con la implementación de este robot se busca facilitar el método de enseñanza ya que en el Ecuador existe 5.91% de la población infantil con discapacidad auditiva. Se recomienda realizar mayor número de pruebas al robot didáctico en un salón de clases con la finalidad de medir su utilidad y así encontrar mejoras en su diseño.

**PALABRAS CLAVES:** < ROBÓTICA >, < ENSEÑANZA >, < DISCAPACIDAD AUDITIVA >, < ROBOT DIDÁCTICO >, < LENGUAJE DE SIGNOS >, < IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL >, < CONSUMO ENERGÉTICO >.

## **ABSTRACT**

A didactic robot was implemented to facilitate the teaching of sign language to children with hearing impairment, this prototype has several stages such as Hardware (printing and assembly), Software (APP), Control, and Communication. For the Hardware stage initially, the arms of the humanoid robot InMoov were selected, which is made up of 6 pieces respectively and then to proceed with the printing made with biodegradable material, once completed the assembly was started including inside an Arduino development board (device controller), actuators, Bluetooth module and drivers for servo motors. For the Software stage, a mobile application was designed using the Android Studio software used as an interface for user interaction with the didactic robot, which allows entering voice and text commands (fingerspelling alphabet, numbers). For the control stage, an algorithm was made with the Arduino software to manage the servo motors and thus carry out the movements of the hands and create the sign language. Finally, in the communication stage, the controller receives the signals of the application through a Bluetooth communication module causing the microcontroller to send commands to the servomotors (10 for each arm) so that they can replicate the movements in sign language. As a result of the tests, an accuracy of 89% was obtained in the reproduction of movements in the fingerspelling alphabet and numbers. With the implementation of this robot, it is intended to facilitate the teaching method due to in Ecuador there is 5.91% of the child population with hearing impairment. It is recommended to carry out a greater number of tests on the didactic robot in a classroom to measure its usefulness and thus find improvements in its design.

**KEYWORDS:** < ROBOTICS >, < TEACHING >, < HEARING IMPAIRMENT >, < DIDACTIC ROBOT>, < SIGN LANGUAGE >, <THREE-DIMENSIONAL PRINTING, < ENERGY CONSUMPTION >.

## INTRODUCCIÓN

Según el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades) en su último censo registro un total del 14.05% de personas con discapacidad auditiva de las cuales el 5.91% está reflejada en niños de 4 a 12 años. (CONADIS, 2019)

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el 15% de la población mundial tiene alguna discapacidad ya sea física, psicosocial, intelectual o sensorial, que incluye la visual y auditiva. Además, en algún momento de nuestra vida se podría tener algún tipo de discapacidad ya sea por la vejez o por ámbitos laborales. (Organizacion Mundial de la Salud (OMS), 2019)

La discapacidad es la deficiencia, limitación de actividades y restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal, las limitaciones de actividades son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por lo tanto, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. (Ministerio de Salud Publica, 2019)

De acuerdo con la Constitución de la Republica del Ecuador en su art. 26 “La educación es un derecho de las personas a lo largo de su vida y un deber ineludible e inexcusable del Estado. Constituye un área prioritaria de la política pública y de la inversión estatal, garantía de la igualdad e inclusión social y condición indispensable para el buen vivir. Las personas, las familias y la sociedad tienen el derecho y la responsabilidad de participar en el proceso educativo” (Ministerio de Educacion, 2019). Por lo tanto, es importante llevar a la práctica la inclusión en todo sentido para tener una sociedad más justa y equitativa. Los alumnos con hipoacusia o sordera van a precisar sobre todo que se facilite su acceso a los contenidos mediante todo tipo de recursos. No será necesario, en la mayoría de los casos, adaptar su nivel de dificultad de manera más o menos significativa o importante.

El alfabeto manual o alfabeto dactilológico es un sistema de comunicación utilizado por el colectivo de personas sordociegas. Está basado en el alfabeto usado por la Comunidad Sorda, aunque con una diferencia fundamental: las personas sordas lo ejecutan en la versión visual, mientras que las personas sordociegas lo pueden utilizar en la versión visual o en la táctil. (ASOCIDE, 2019)

En el Ecuador existen instituciones que prestan ayuda para facilitar la comunicación en el lenguaje de señas, donde enseñan a los familiares de las personas con discapacidades especiales este tipo

de lenguaje para que puedan comunicarse entre sí, pero debido a muchas circunstancias estas instituciones no constan con tecnologías de comunicación o un sistema lo cual hace que el número de personas a las que pueden llegar sea muy limitado.

Por ende, este proyecto de titulación responde a la necesidad de implementar un robot didáctico que enseñe mediante lenguaje de señas a niños con discapacidad auditiva que sea accesible y de fácil uso para aquellas instituciones que brindan de este servicio.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Implementar un robot didáctico que enseñe mediante el lenguaje de señas para niños con discapacidad auditiva de educación inicial.

### **Objetivos específicos**

- Investigar los tipos de metodología de enseñanza impartidos a un niño con discapacidad auditiva para implementarlo en el prototipo de robot.
- Determinar los requerimientos que el prototipo de robot debe cumplir para una imitación aceptable del lenguaje de señas.
- Analizar los métodos de enseñanza existentes para el lenguaje de señas.
- Implementar un prototipo de robot existente que se adapte a los requerimientos planteados en nuestro tema de investigación.
- Seleccionar el software y hardware adecuados para la implementación del prototipo de robot.
- Realizar pruebas para determinar si el prototipo de robot replica el lenguaje de señas correctamente.

El presente documento consta de cuatro capítulos donde se detalla la investigación y el desarrollo de la implementación de un robot didáctico que enseñe el lenguaje de señas a niños con discapacidad auditiva de educación inicial. En el primer capítulo se describe el método teórico de revisión documental detallando la información básica y necesaria para el prototipo. En el segundo capítulo explica sobre el uso del método empírico de experimentación para seleccionar correctamente los elementos utilizados en el diseño del prototipo para el correcto funcionamiento, tomando en cuenta los requerimientos del mismo. En el tercer capítulo el método estadístico para comprobar y validar los resultados obtenidos del funcionamiento del prototipo, aplicando distintas pruebas experimentales. Finalmente, en el capítulo cuatro se determinará el costo total del dispositivo

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo se hace referencia a una revisión bibliográfica de los aspectos tomados en cuenta para llevar a cabo el trabajo de titulación. Se analiza los conceptos generales acerca de la discapacidad auditiva, tipos y sus efectos en la sociedad. Se determina el hardware y software necesarios para implementar el prototipo.

#### 1.1. Discapacidad

Es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno, que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás. (MINSALUD, 2019)

##### 1.1.1. Tipos de discapacidad

La discapacidad de una persona se puede encontrar por diferentes clasificaciones en función del tipo del problema que esté presente. Por lo tanto, se puede establecer los tipos de discapacidad de los cuales son (Castillero M., 2019):

###### 1.1.1.1. Discapacidad física o motora

Consiste en falta, deterioro o alteración funcional de una o más partes del cuerpo, y que provoque inmovilidad o disminución de movilidad, lo cual impide a la persona desenvolverse de la manera convencional (FUNDEMÁS, 2019).

###### 1.1.1.2. Discapacidad sensorial

Corresponde a la pérdida de la capacidad visual o auditiva, en donde aquellas personas con este tipo de discapacidad presentan problemas al momento de comunicarse o utilizar el lenguaje (Ministerio de Trabajo, 2019).

- **Discapacidad auditiva:** Consiste en el deterioro o falta de la función sensorial de oír (sordera parcial o total, dificultades para hablar).
- **Discapacidad visual:** Consiste en el deterioro o falta de la función sensorial de ver (visión disminuida, ceguera).

### *1.1.1.3. Discapacidad intelectual*

Es aquella que presenta limitaciones en el funcionamiento intelectual en el cual la persona con este tipo de discapacidad se les hace más difícil aprender y responder a distintas situaciones de la vida diaria (FUNDEMÁS, 2019).

### *1.1.1.4. Discapacidad mental*

La persona con este tipo de discapacidad tiene deficiencias en las funciones mentales como en el pensar, sentir y relacionarse. Es conocido también bajo el término de “Discapacidad psicosocial” (Ministerio de Trabajo, 2019).

## ***1.1.2. La discapacidad y sus efectos en la sociedad***

Las personas con discapacidad tienen más probabilidades que las personas sin discapacidad de obtener resultados socioeconómicos adversos, como menor nivel de educación, peor estado de salud, niveles inferiores de ocupación y tasas más altas de pobreza. Además, tendrán obstáculos a la inclusión social y económica como la inaccesibilidad de los entornos físicos y el transporte, la falta de disponibilidad de dispositivos y tecnologías de apoyo, la falta de adaptación de los medios de comunicación, las deficiencias en la prestación de servicios, y los prejuicios discriminatorios y el estigma en la sociedad.

En los años futuros, la discapacidad será un motivo de preocupación aún mayor, pues su prevalencia está aumentando. Ello se debe a que la población está envejeciendo y el riesgo de discapacidad es superior entre los adultos mayores, y también al aumento mundial de enfermedades crónicas tales como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y los trastornos de la salud mental.

### ***1.1.3. Métodos para la educación de personas con discapacidad auditiva***

El aprendizaje es un factor importante que adquiere del ser humano mediante el estudio, ejercicio o la experiencia, esto inicia desde los primeros días de vida mediante el cual se adquieren habilidades, destrezas, conocimientos, conductas y valores.

A continuación, se detalla los métodos más usados y conocidos para la educación de personas con discapacidad auditiva.

### *1.1.3.1. Método oralismo*

El oralismo es un método de enseñanza/aprendizaje del habla aprovechando los restos auditivos, se utiliza en personas que no tienen afectado el aparato fono articulador. En este método no interviene el sistema gestual ni el dactilológico. Para adquirir el lenguaje a través de este sistema se requiere los recursos como gimnasia respiratoria, lectura labio facial y contar con aparatos electroacústicas. La lectura labio facial permite leer los labios de las personas cuando hablan, esta es una cualidad que las personas con discapacidad auditiva desarrollan de una manera rápida y beneficiosa para su aprendizaje, ya que no solo se observa los labios sino los gestos faciales y las expresiones corporales. La técnica consiste en enseñar a hablar a la persona sorda, entender el significado de la palabra y aprender el idioma (Universidad Internacional de Valencia, 2018).

### *1.1.3.2. Método gestual*

- Lenguaje de señas

Los niños con discapacidad auditiva utilizan como principal medio la comunicación mediante gestos, esto va surgiendo de manera natural cuando un sordo entra en contacto otro u otros sordos, caso contrario si este vive aislado de otros sordos desarrolla un sistema de comunicación basado en signos manuales espontáneos. Este es un sistema de comunicación visual y gestual, cuyo lenguaje es muy importante para los niños sordos al ser la lengua de la comunidad sorda. Además, los gestos son los elementos o unidades léxicas de la lengua de signos y estos son arbitrarios o simbólicos cuyo origen es muy variado y son objeto de “aprendizaje” (Castillero M., 2019).

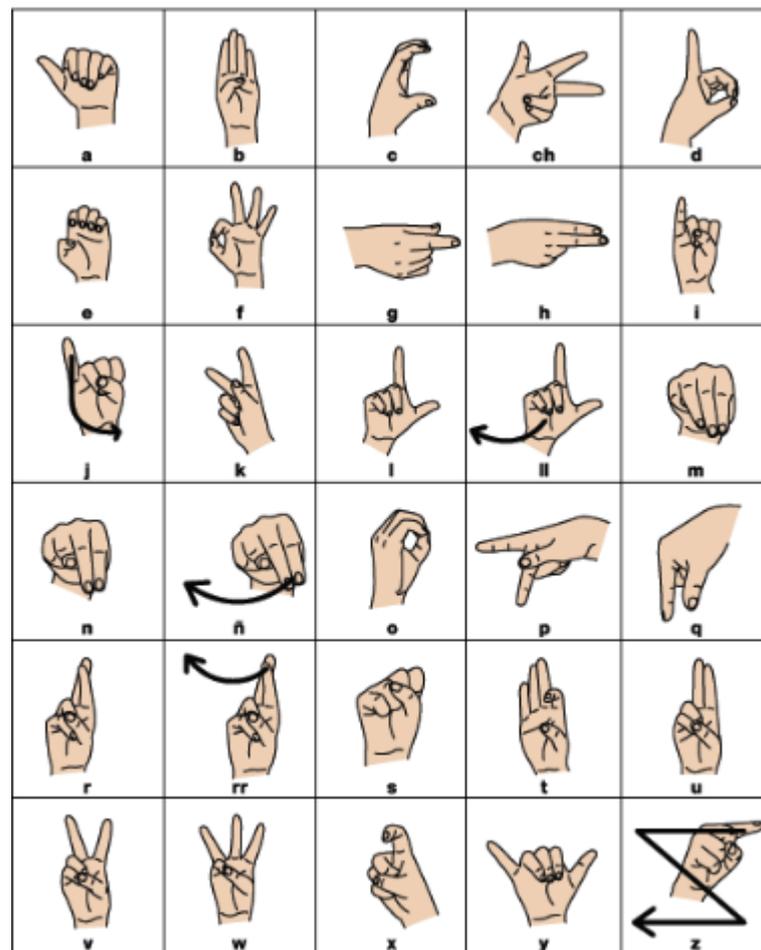
Utilizar la lengua de signos como primer lenguaje para los niños sordos profundos toma con el tiempo más importancia, sobre todo si se les introduce desde pequeños en el bilingüismo (lengua de signos y lengua oral).

- La dactilología

Es la representación manual de cada una de las letras que componen el alfabeto por diversos posiciones y movimientos de los dedos de la mano como se observa en la figura 1-1. A través de ella se puede transmitir a la persona sorda cualquier palabra que se desee comunicar, por complicada que ésta sea.

El deletreo es una gran parte del sistema de comunicación de los individuos sordos. Se trata, simplemente, de la escritura del alfabeto castellano ejecutada en el aire en vez de un papel. Hay veintinueve posiciones con sus variantes de desplazamiento de mano, varias de las cuales son la representación precisa de la letra. El deletreo manual es utilizado en mezcla con el lenguaje de

signos para sustantivos, nombres propios, direcciones y palabras para las cuales ni siquiera existe un ideograma o símbolo desarrollado o es poco conocido por la sociedad signante, como pasa con signos de reciente construcción (neologismos) o palabras poco comunes. Su trascendencia ni siquiera podría ser subestimada; es por consiguiente sustancial para el individuo que se comience en la lengua de signos, concentrarse en desarrollar tanto las capacidades receptoras como las expresivas, con la intención de adquirir vivencia (ASOCIDE, 2019).



**Figura 1-1:** Alfabeto dactilográfico  
Fuente: (ASOCIDE, 2019)

### 1.1.3.3. Método lecto-escritura

Es un método de enseñanza de lectura y escritura para personas con discapacidad auditiva, ya que el docente el cual está encargado de instruir al estudiante sordo solo escribirá o mostrará la figura de una letra del alfabeto dactilográfico que no tendrá ningún significado para personas que tienen este problema auditivo ya que ellos solo captarán la imagen, pero no sabrán el sonido de esta. Los materiales didácticos que se usan para este método de enseñanza son los textos escritos y material impreso (Alonso, 2006).

#### **1.1.4. Materiales para la educación de personas con discapacidad auditiva**

Para una educación correcta en niños con este tipo de discapacidad es necesario tener los materiales didácticos adecuados ya que estos deben atraer la atención del mismo.

##### **1.1.4.1. Materiales impresos**

Estos materiales son producidos por algún medio de impresión referente a libros, revistas, periódicos, enciclopedias, cuentos, fichas de actividades, libros de ilustración, etc. Además, en la actualidad son muy atractivos, vienen ilustrados con numerosos dibujos, esquemas y fotografías, emplean distintos tipos de letra y son usados como medio para la educación y aprendizaje (Vasquez, y otros, 2017).

##### **1.1.4.2. Materiales gráficos**

Son herramientas usadas por los docentes durante el proceso de enseñanza - aprendizaje, debido a la gran variedad de formas de plasmar la información mediante los materiales gráficos, ya que estos poseen un conjunto de palabras e imágenes que no necesitan de tecnología ni conocimientos técnicos para elaborar ya que son indispensables para lograr los objetivos que nos planteamos en la sesión educativa (Vasquez, y otros, 2017).

##### **1.1.4.3. Materiales de audiovisual**

Es una herramienta tecnológica que presenta la información usando sistemas acústicos, ópticos o una combinación de ambos (diapositivas, televisión, radio, retroproyector y videos) que sirven para comunicar un mensaje con el fin de brindar conocimientos y motivar el aprendizaje (Vasquez, y otros, 2017).

##### **1.1.4.4. Materiales permanentes**

Son usados por las personas encargadas en la educación del estudiante ya que ellos los utilizan todos los días como son pizarras, tizas, marcadores, reglas, cuadernos, etc. (Vasquez, y otros, 2017).

#### **1.1.5. Clasificación de los materiales didácticos orientados a la discapacidad auditiva**

En la tabla 1-1 se observa la clasificación de los materiales didácticos para los familiares, docentes, estudiantes y comunidad en general.

**Tabla 1-1:** Clasificación de los materiales didácticos orientados a la discapacidad auditiva

Destinatario	Tipos de materiales	Materiales didácticos
Familia	Impresos	Cuentos y ocio Cultura sorda Expresión y comunicación Manuales y guías
	Manipulativos	Cuento y ocio
	Audiovisuales	Cuento y ocio Currículos educativos Manuales y guías
	Digitales	Manuales y guías
Docente	Impresos	Aprendizaje del lenguaje de señas Cultura sorda Currículos educativos Diccionarios Expresión y comunicación Manuales y guías
	Audiovisuales	Aprendizaje del lenguaje de señas Currículos educativos Expresión y comunicación
	Digitales y aplicaciones	Aprendizaje del lenguaje de señas Currículos educativos Diccionarios Manuales y guías
Alumno	Impresos	Aprendizaje del lenguaje de señas Cuento y ocio Currículos educativos Diccionarios Expresión y comunicación Manuales y guías
	Manipulativos	Cuento y ocio Currículos educativos
	Audiovisuales	Aprendizaje del lenguaje de señas Cuento y ocio Currículos educativos Otros
	Digitales y aplicaciones	Aprendizaje del lenguaje de señas Cultura sorda Currículos educativos Diccionarios
	Otros	
Comunidad general	Impresos	Aprendizaje del lenguaje de señas Cuento y ocio Cultura sorda Diccionarios Manuales y guías
	Audiovisuales	Aprendizaje del lenguaje de señas

		Cuento y ocio
	Digitales y aplicaciones	Aprendizaje del lenguaje de señas Cuento y ocio Diccionarios Manuales y guías
	Otros	

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

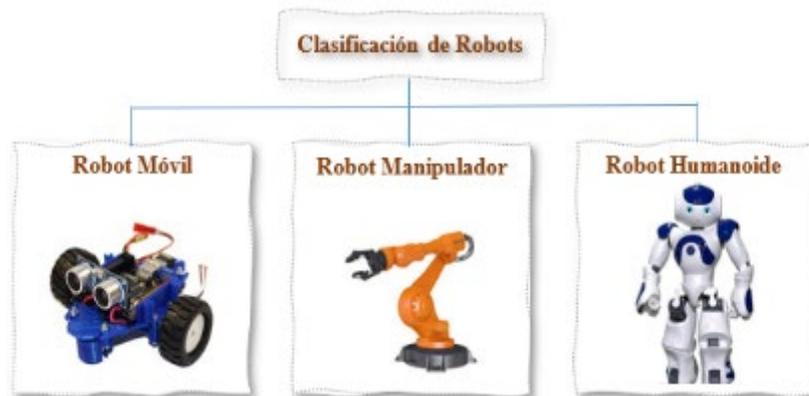
Fuente: (Vasquez, y otros, 2017)

## 1.2. Robots

Un robot es una entidad virtual o mecánica artificial y este es un sistema electromecánico que posee la capacidad de interpretar su entorno y adecuar sus acciones a la consecución de un objetivo (Hernandez Ordoñez, y otros, 2015 pág. 33). Los primeros robots fueron inventados para acelerar los procesos de fabricación industrial mediante la automatización programada. Sin embargo, hoy en día los robots se han convertido en sistemas completamente autónomos capaces de funcionar y tomar “decisiones” sin la intervención del ser humano (Andrew Keisner, 2018).

### 1.2.1. Tipos de robot

En la actualidad existe una gran variedad de robots con diversas estructuras mecánicas que definen su funcionalidad y aplicación (Reyes Cortez, 2011 pág. 9). En la figura 2-1 se presenta la clasificación general de los Robots.



**Figura 2-1:** Clasificación de Robots

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

#### 1.2.1.1. Robot móvil

Este tipo de robots tienen una plataforma mecánica dotada de un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo, tiene una gran capacidad para desplazarse portando cargas. Sus aplicaciones son muy variadas y siempre están relacionadas con tareas que normalmente son riesgosas o nocivas para la salud humana (Il Bambino, 2008).

### 1.2.1.2. Robot Manipulador

Es una maquina autónoma que tiene brazos automatizados la cual puede ser reprogramada para que cumpla su función, cuenta con varias articulaciones o ejes que permite posicionar y orientar en el espacio deseado, el movimiento se realiza en tres ejes (x, y, z) (MecatronicaLATAM, 2018).

### 1.2.1.3. Robot Humanoide

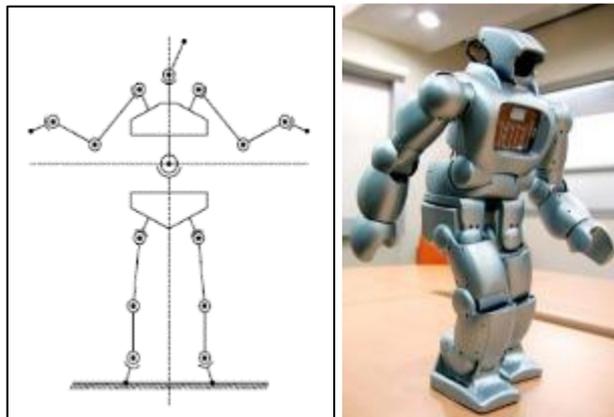
Es un robot diseñado para imitar o simular la forma y los movimientos de un ser humano como: hablar caminar, ver, recolectar, limpiar y trasladar objetos. Este tipo de robots se están volviendo más semejantes al ser humano siendo capaces de asistir a personas discapacitadas, guiar, orientar y comunicar órdenes (Bonell Marc, 2011).

## 1.2.2. Tipos de robot humanoide

Existen dos tipos de robot humanoide como son el robot humanoide bípedo y el robot humanoide con ruedas.

### 1.2.2.1. Robot humanoide bípedo

Se caracteriza porque se pueden dividir en cuatro cuadrantes: dos para la parte superior y dos para la parte inferior. Además, se presentan 5 zonas críticas concernientes con la capacidad motriz de los actuadores. Cabe señalar que la mayoría de las articulaciones del robot humanoide bípedo son del tipo esférico puro. En el caso de los miembros superiores e inferiores, incluyen cadenas cinemáticas abiertas de 7 grados de libertad. Mientras que la orientación de la cabeza requiere una cadena abierta de tipo esférica. En total se necesita una cadena cinemática de 34 grados de libertad (Futuro Electrico, 2018), como se observa en la figura 3-1.

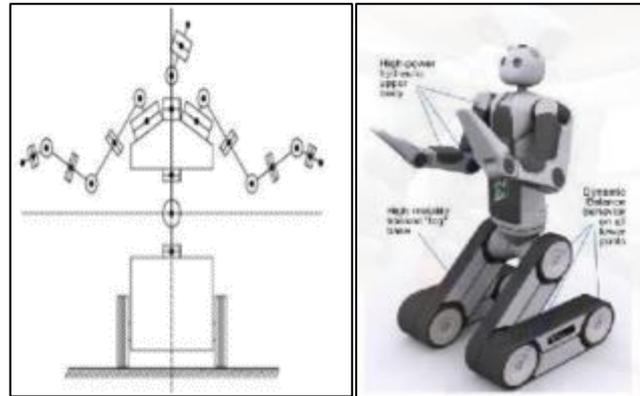


**Figura 3-1:** Robot humanoide bípedo

Fuente: (Futuro Electrico, 2018)

### 1.2.2.2. Robot humanoide con ruedas

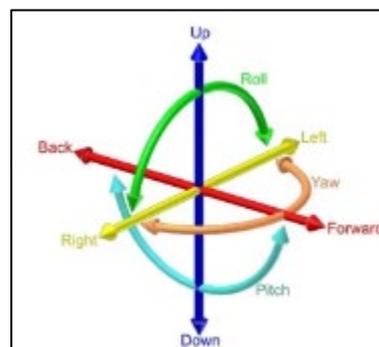
Estos robots humanoides tienen una base propulsada por ruedas. Esta base móvil está constituida con un sistema de locomoción diferencial. Sin embargo, la parte superior es totalmente antropomórfica y sigue igual a la del robot humanoide bípedo (Futuro Electrico, 2018), como se observa en la figura 4-1.



**Figura 4-1:** Robot Humanoide con Ruedas  
Fuente: (Futuro Electrico, 2018)

### 1.2.3. Grados de libertad

El GDL tiene la capacidad de moverse en un espacio tridimensional como son: traslación en tres ejes perpendiculares (movimiento lineal) como delante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha y estos van combinados con la rotación sobre tres ejes perpendiculares (guiñada, cabeceo, alabeo), como se observa en la figura 4-1. Son el número mínimo de velocidades necesarias para definir el estado cinemático de un mecanismo. Además, el movimiento a lo largo de cada uno de los ejes es independiente de los otros, y cada uno es independiente de la rotación sobre cualquiera de los ejes (Sitio Web Inteligencia Artificial, 2017). El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de GDL de las articulaciones que lo componen. En general, es importante observar que, no es el número de masas la que conducirá siempre a una estimación correcta de número de grados de libertad (Ollero B., 2001).



**Figura 5-1:** Grados de libertad  
Fuente: (Ollero B., 2001)

#### **1.2.4. Robots en la educación**

Unos de los objetivos de la robótica es ayudar al docente ya que ellos son los encargados de la educación desde la educación infantil hasta la universidad. La robótica educativa se centra en la creación de un robot amigable, de fácil uso y que sea llamativo para el estudiante.

##### **1.2.4.1. Robot educativo WEDO**

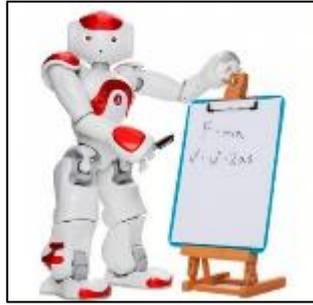
Este tipo de robot es una propuesta de Lego Education para chicos, ya que posee varias piezas de Lego muy llamativas para atraer la atención de los niños para que ellos lo puedan construir mediante la instrucción del docente ya que posee una estructura simple y de fácil uso. Además, los comportamientos se programan con una herramienta extremadamente simple, fácil y divertida para iniciarse en la robótica. Estos robots son ideales para contar historias y cuentos, y tener un aprendizaje lúdico que fomente la colaboración y participación de los niños; a su vez, facilita la comprensión de conocimientos tecnológicos en asignaturas como Lenguaje, Ciencias Sociales o Historia (RobotLab, 2018). En la figura 6-1 se observa una construcción de un robot con piezas de Lego.



**Figura 6-1:** Robot educativo WEDO  
Fuente: (RobotLab, 2018)

##### **1.2.4.2. Robot educativo NAO**

En la figura 7-1 se observa el robot humanoide NAO. Su uso abarca a la comunidad educativa e investigativa ya que es autónomo y completamente reprogramable. Tiene una altura de 50 cm que puede andar, hablar, oír y reconocer rostros. Además, la forma atractiva que tiene el robot atrae a los estudiantes para su manejo, uso y aprendizaje de la misma. La capacidad de programar las interacciones humano-robot proporciona un gancho para grupos de estudiantes que tradicionalmente no están interesados en la codificación (Albesa L., 2018).



**Figura 7-1:** Robot educativo NAO  
**Fuente:** (Albesa L., 2018)

#### 1.2.4.3. Robot Educativo Mini Darwin

Es un robot humanoide de código abierto personalizable que permite infinitas opciones de personalización. Este robot usa el microcontrolador OpenCM9.04-C, que se ejecuta en un ARM Cortex-M3 de 32 bits, y se programa fácilmente a través de USB con el software OpenCM. Cada servo tiene un procesador integrado que permite un control avanzado de los servos, así como la lectura de datos como temperatura, posición y torque. La comunicación Bluetooth permite el control y la programación de Darwin a través de una computadora o tableta. El software permite capturar y reproducir varias poses, o utilizar la amplia variedad de movimientos incorporados. Los movimientos avanzados, como ponerse de cabeza, rodar y levantarse del suelo, no son un problema para Darwin-Mini (Sanchez R., y otros, 2017), como se observa en la figura 8-1.



**Figura 8-1:** Robot educativo Mini Darwin  
**Fuente:** (Sanchez R., y otros, 2017)

#### 1.2.4.4. Robot Inmoov

Fue creado en el año por el escultor y creador de modelos francés Gael Langevin que inicialmente fue crear la primera prótesis de mano de código abierto, pero en la actualidad y con los avances tecnológicos se ha logrado conseguir un robot humanoide de tamaño y características casi similar a las de los humanos, sus piezas son creadas en su totalidad y son de fácil acceso ya que se puede descargar en la página oficial y repositorio Thingiverse cada una de las piezas del cuerpo e imprimirlos en una impresora 3D. Para este proyecto de titulación solamente se utilizarán las

manos robóticas de robot Inmoov ya que posee cinco dedos y cada uno se compone de 6 piezas respectivamente, en la movilidad de la mano se utiliza 5 servomotores ubicados en el interior del antebrazo como se observa en la figura 9-1 y en el cual este dispone de 20 GDL. Además, para lograr el movimiento de las articulaciones se ubican poleas e hilos de nylon para flexionar o extender los dedos (Carmo Trolle, 2016).



**Figura 9-1:** Robot Inmoov  
Fuente: (Carmo Trolle, 2016)

### ***1.2.5. Aplicaciones de los Robots***

En la actualidad los robots tienen una amplia gama de aplicaciones para la robótica en los diferentes sectores como (Reyes Cortez, 2011):

- Medicina
- Industria
- Agricultura
- Servicio,
- Educación,
- Aplicaciones militares
- Vehículos submarinos
- Ciencia e Ingeniería

### ***1.2.6. Modelo cinemático y dinámico del robot***

#### ***1.2.6.1. Cinemática***

Estudia los movimientos de un robot como la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos y son calculados sin considerar las fuerzas que lo causan. Existen dos problemas fundamentales a resolver como son cinemático directo del robot; y el cinemático inverso resuelve

la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas (Cardoso, y otros, 2017).

- Modelo cinemático directo

Posibilita conocer cuál es la posición y orientación que adopta el extremo del robot cuando todas las cambiantes que fijan la posición u orientación de sus articulaciones toma valores determinados. Para conocer la posición y orientación del extremo del robot se realizará por medio de matrices de transformación homogéneo y se representa en la ecuación 1-1. (Cardoso, y otros, 2017):

$$\begin{aligned}
 x &= f_x(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 y &= f_y(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 z &= f_z(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \alpha &= f_\alpha(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \beta &= f_\beta(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \gamma &= f_\gamma(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6)
 \end{aligned}
 \tag{1-1}$$

Mediante las transformaciones homogéneas se representan las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que tiene el robot. La matriz de transformaciones homogéneas tiene la siguiente estructura:

- Submatriz de rotación  $R_{3 \times 3}$
- Submatriz de traslación  $p_{3 \times 1}$
- Submatriz de perspectiva  $f_{1 \times 3}$
- Submatriz de escalado  $w_{1 \times 1}$

La submatriz de perspectiva en caso de la robotica es siempre 0 y la submatriz escalado en caso de la robotica es 1, como se observa en la ecuacion 2-1 y 3-1.

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}
 \tag{2-1}$$

$$T = \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \tag{3-1}$$

Donde los vectores n, s, a, son vectores ortogonales unitarios y p es un vector que describe la posición x,y,z del origen del sistema actual respecto del sistema de referencia.

- La representación de Denavit- Hartenberg

Posibilita el paso de un eslabón al siguiente por medio de 4 matrices de transformación simples, que dependen exclusivamente de las propiedades constructivas del robot. Estas 4 transformaciones simples consisten en una serie de rotaciones y traslaciones que permiten relacionar el sistema de referencia del factor  $i-1$  con el sistema del componente  $i$  son (Cardoso, y otros, 2017):

- Rotación alrededor del eje  $Z_{i-1}$  un ángulo  $\theta_i$ .
- Traslación a lo largo de  $Z_{i-1}$  una distancia  $d_i$ ; vector  $d_i$   $(0,0, d_i)$ .
- Traslación a lo largo  $X_i$  una distancia  $a_i$ ; vector  $a_i$   $(0,0, a_i)$ .
- Rotación alrededor del eje  $X_i$  un ángulo  $\alpha_i$ .

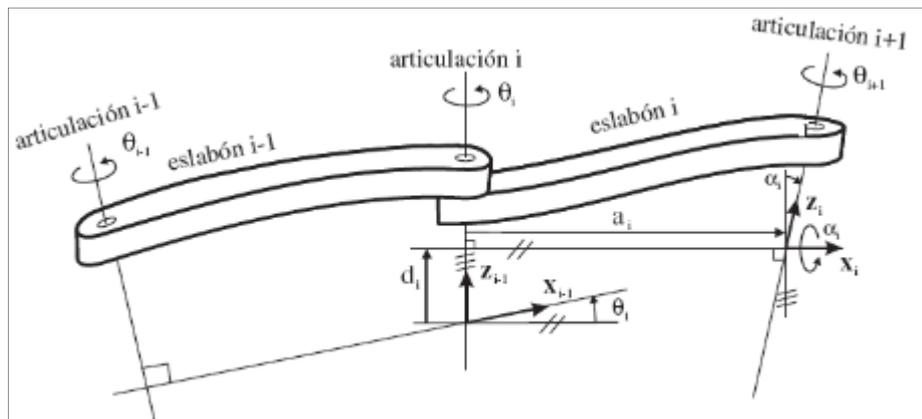
La matriz de transformación propuesta por D-H para la solución de este modelo se muestra en la ecuación 4-1

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

Donde  $\theta_i$ ,  $d_i$ ,  $a_i$ ,  $\alpha_i$  son los parámetros de D-H del eslabón.

- Algoritmo de D-H

En la figura 10-1 se observa el brazo de un robot con eslabones giratorios.



**Figura 10-1:** Parámetros de D-H para un eslabón giratorio

Fuente: (Cardoso, y otros, 2017)

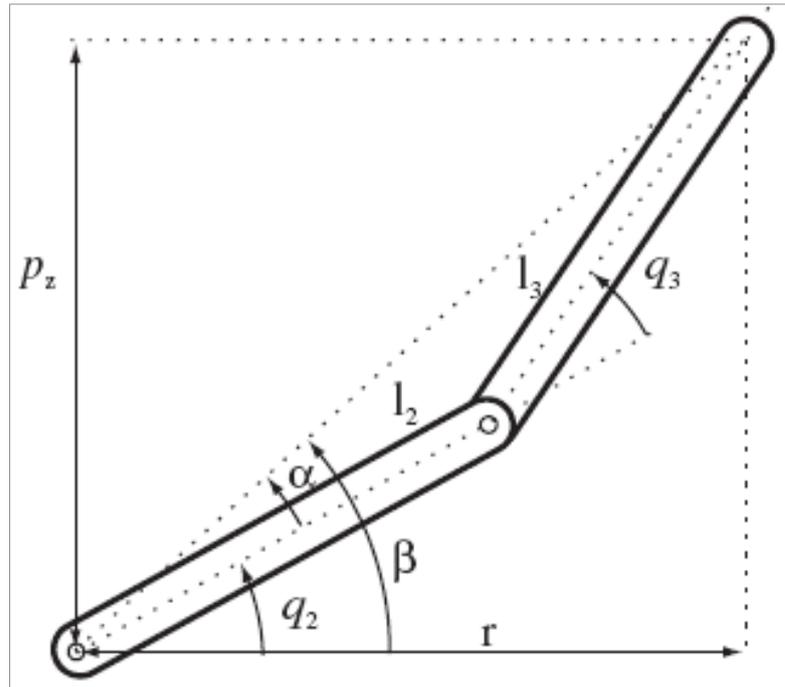
Para resolver el algoritmo D-H se debe seguir los siguientes pasos:

1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil) y acabando con  $n$  (último eslabón móvil). Se numera como eslabón 0 a la base fija del robot.
2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (primer GDL) y acabando en  $n$ .

3. Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.
4. Para  $i = 0$  a  $n-1$  situar el eje  $Z_i$  sobre el eje de la articulación  $i+1$ .
5. Situar el origen del sistema de la base  $\{S_0\}$  en cualquier punto del eje  $Z_0$ . Los ejes  $X_0$  e  $Y_0$  se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con  $Z_0$ .
6. Para  $i = 1$  a  $n-1$ , situar el sistema  $\{S_i\}$  (solidario al eslabón  $i$ ) en la intersección del eje  $Z_i$  con la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ . Si ambos ejes se cortasen se situaría  $\{S_i\}$  en el punto de corte. Si fuesen paralelos  $\{S_i\}$  se situara en la articulación  $i+1$ .
7. Para  $i = 1$  a  $n-1$ , situar  $X_i$  en la línea normal común a  $Z_{i-1}$  y  $Z_i$ .
8. Para  $i = 1$  a  $n-1$ , situar  $Y_i$  de modo que formen un sistema dextrógiro con  $X_i$  y  $Z_i$
9. Situar el sistema  $\{S_n\}$  en el extremo del robot de modo que  $Z_n$  coincida con la dirección de  $Z_{n-1}$  y  $X_n$  sea normal a  $Z_{n-1}$  y  $Z_n$ .
10. Obtener  $\theta_i$  como el ángulo que hay que girar en torno a  $Z_{i-1}$  para que  $X_{i-1}$  y  $X_i$  queden paralelos.
11. Obtener  $d_i$  como la distancia, medida a lo largo del eje  $Z_{i-1}$ , que habría que desplazar  $\{S_{i-1}\}$  para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  quedasen alineados.
12. Obtener  $a_i$  como la distancia medida a lo largo de  $X_i$ , que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ , que habría que desplazar el nuevo  $\{S_{i-1}\}$  para que su origen coincidiese con  $\{S_i\}$ .
13. Obtener  $\alpha_i$  como el ángulo que habría que girar en torno a  $X_i$ , que ahora coincidiría con  $X_{i-1}$ , para que el nuevo  $\{S_{i-1}\}$  coincidiese totalmente con  $\{S_i\}$
14. Obtener las matrices de transformación  $A_i^{i-1}$ .
15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot  $T = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_n^{n-1}$ .
16. La matriz  $T$  define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) de los extremos referidos a la base, en función de la  $n$  coordenada articulares (Barrientos, y otros, 2007).

- Modelo cinemático-inversa

El problema de la cinemática inversa consiste en encontrar las coordenadas articulares del robot  $q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$  para que su extremo se posicione y se oriente en una ubicación específica. Se utiliza el método geométrico para ello se utiliza las relaciones trigonométricas y geométricas sobre los elementos y se recurrirá a la resolución de triángulos formados por los elementos y articulaciones del robot (Cardoso, y otros, 2017). En la figura 11-1 se observa la interpretación de la cinemática inversa.



**Figura 11-1:** Interpretación de una cinemática inversa  
**Fuente:** (Cardoso, y otros, 2017)

#### 1.2.6.2. Dinámica

El modelo dinámico permite conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas asociadas implicadas en el mismo. El modelo matemático establece la relación matemática entre (Cardoso, y otros, 2017):

1. La localización del robot definida por sus variables articulares o por las coordenadas de localización de su extremo, y sus derivadas: velocidad y aceleración.
2. Las fuerzas y pares aplicados en las articulaciones (o en el extremo del robot).
3. Los parámetros dimensionales del robot, como longitud, masas e inercias de sus elementos.

La obtención del modelo dinámico del robot de uno o dos GDL no es compleja, pero a medida que este aumenta el modelo también se vuelve complejo, por esta razón no siempre se obtiene un modelo dinámico expresado en una forma cerrada por lo tanto su resolución será mediante ecuaciones diferenciales de segundo y cuya integración permitirá conocer qué movimiento surge al aplicar unas fuerzas o qué fuerzas hay que aplicar para obtener un movimiento determinado. El modelo dinámico debe ser resuelto de manera iterativa mediante la utilización de un procedimiento numérico.

El planteamiento del equilibrio de fuerzas y pares que intervienen sobre el robot se obtienen los denominados modelos dinámicos directo e inverso:

- Modelo dinámico directo: Expresa la evolución temporal de las coordenadas articulares del robot en función de las fuerzas y pares que intervienen.
- Modelo dinámico inverso: Determina las fuerzas y pares necesarios para conseguir una evolución de las coordenadas articulares determinada.

Para encontrar el modelo dinámico del robot se puede realizar a través de los métodos Newton-Euler y Euler-Lagrange.

- Método de Newton-Euler

La obtención del modelo dinámico de un robot se basa fundamentalmente en el principio de equilibrio de fuerza establecida por la segunda ley de Newton, o su similar para movimientos de rotación, la denominada ley de Euler (Ramirez B., 2017).

Para obtener el modelo dinámico parte del equilibrio de fuerzas establecida por la segunda ley de Newton o su similar para movimientos de rotación el cual será la ley de Euler como se observa en la ecuación 5-1.

$$\begin{aligned} \sum F &= m\dot{v} \\ \sum T &= I\omega + \dot{\omega}x(I\omega) \end{aligned} \quad (5-1)$$

Donde, m es la masa,  $\dot{v}$  es la aceleración, I es la inercia y  $\omega$  la velocidad angular del mecanismo.

Para un adecuado desarrollo de la ecuación 5 se procede a la formulación recursiva en donde se obtiene la posición, velocidad y aceleración del eslabón i referidos a la base del robot a partir de los correspondiente del eslabón i-1 y del movimiento relativo de la articulación i (Ramirez B., 2017).

- Método de Euler-Lagrange

Este método define como la diferencia entre la energía cinética y la energía potencial. El método de Lagrange establece como se muestra en la ecuación 6-1 (Ramirez B., 2017):

$$\begin{aligned} L &= E_c - E_p \\ \tau_i &= \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \end{aligned} \quad (6-1)$$

Donde:

L: Función Lagrangiana.

$E_c$ : Energía cinética.

$E_p$ : Energía potencial.

$q_i$ : Coordenadas generalizadas (en este caso las articulares).

$\tau_i$ : Fuerza o pares aplicado sobre el grado de libertad  $q_i$ .

En la ecuación 7-1 se observa la fórmula de la energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2}m_i v_i^2 + \frac{1}{2}I_i \dot{\theta}_i^2 \quad (7-1)$$

Donde,  $m_i$  es la masa del eslabón,  $v_i$  la velocidad lineal del centro de masas del eslabón,  $I$  es la inercia del eslabón y  $\dot{\theta}$  es la velocidad angular.

En la ecuación 8-1 se observa la fórmula de la energía potencial

$$E_p = m_i g h_i \quad (8-1)$$

Donde,  $m_i$  es la masa del eslabón,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h_i$  la altura entre el origen y el centro de gravedad del eslabón.

### **1.3. Hardware**

Son las partes físicas, tangibles de un sistema, donde posee componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, es decir es la maquinaria real utilizada para la creación del dispositivo.

#### **1.3.1. Microcontrolador**

Es un circuito integrado programable de muy alta escala de integración, capaz de ejecutar órdenes grabadas en su memoria. Este compuesto por varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica, este circuito está conformado por tres partes funcionales como la unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida (Zenon Cucho, y otros, 2013).

##### **1.3.1.1. Características del microcontrolador**

Para la realización del trabajo de titulación se seleccionará el microcontrolador que posea todos los requerimientos a utilizarse, así como existen muchos modelos enfocados a tareas específicas.

Antes de seleccionar un Microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación (Zenon Cucho, y otros, 2013):

- **Procesamiento de datos:** debe ser capaz de realizar cálculos complejos en un tiempo limitado, se debe seleccionar un Microcontrolador suficientemente rápido para ello, ya sea de 8, 16 o 32 bits según el proyecto a ejecutarse.

- Entrada/Salida: Se identificará la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.
- Consumo: Son alimentados con baterías en estado de bajo consumo, este entra en funcionamiento ante la activación de una señal y ejecuta el programa adecuadamente.
- Memoria: Para saber que memoria es la adecuada es necesario tener una versión preliminar de pseudocódigo de la aplicación para así escoger el microcontrolador adecuado.
- Ancho de palabra: Según el requerimiento de la aplicación se debe seleccionar el de menor ancho de palabra, es decir usar un microcontrolador de 4 bits reducirá los costos, pero el más adecuado puede ser uno de 8 bits si el ancho de los datos es de un byte.
- Diseño de la placa: la selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos impresos.

### 1.3.2. *Arduino*

En una placa electrónica de hardware y software libre, flexible y de fácil uso, además este es un microcontrolador reprogramable, en el cual se puede desarrollar todo tipo de proyectos interactivos de bajo costo y con un entorno amigable (Arduino, 2018). En la figura 12-1 se observa al microcontrolador Arduino.



**Figura 12-1:** Microcontrolador Arduino  
Fuente: (Arduino, 2018)

Para este trabajo de titulación se necesita conocer cuál de los microcontroladores brinda un mejor soporte a los componentes de *hardware*. En la Tabla 2-1 se muestra la comparación de las características de los diferentes modelos de Arduino.

**Tabla 2-1:** Características de los modelos de Arduino

Características	Arduino Nano	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino JUN
Microcontrolador	ATmega328	ATmega328	ATmega2560	ATmega32U4
Voltaje de operación	5V	5V	5V	5V

Alimentación	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V
Pines digitales I/O	14(6PWM)	14(6PWM)	54(15 PWM)	20 (7PWM)
Pines Analógicos I/O	Ningún	6 pines	16 pines	12 pines
Memoria	32Kb	32KB	32KB	32KB
Frecuencia	16MHz	16MHz	16MHz	16MHz
Dimensiones	18.5x 43.2 mm	53x68 mm	101.52x 53.3 mm	102.5x 53.3 mm
Precio	\$ 8	\$ 12	\$ 16	\$ 59

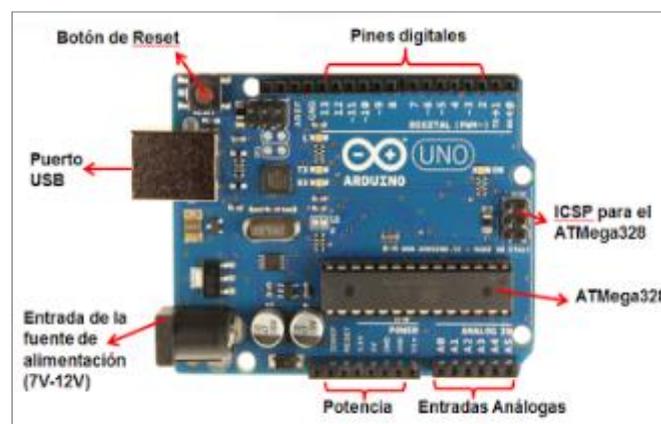
Fuente: (Arduino, 2018)

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

De acuerdo con las características en la tabla 2-1 es factible el uso del Arduino Mega 2560 por su capacidad de memoria, la cantidad de pines y su bajo costo para la realización del trabajo de titulación.

### 1.3.2.1. Componentes del microcontrolador Arduino

El microcontrolador Arduino posee una placa de circuito impreso donde se encuentra instalado el microprocesador, la memoria, las conexiones de entrada y salida y la conexión para el puerto USB, como se observa en la figura 13-1.



**Figura 13-1:** Componentes del microcontrolador Arduino

Fuente: (Arduino, 2018)

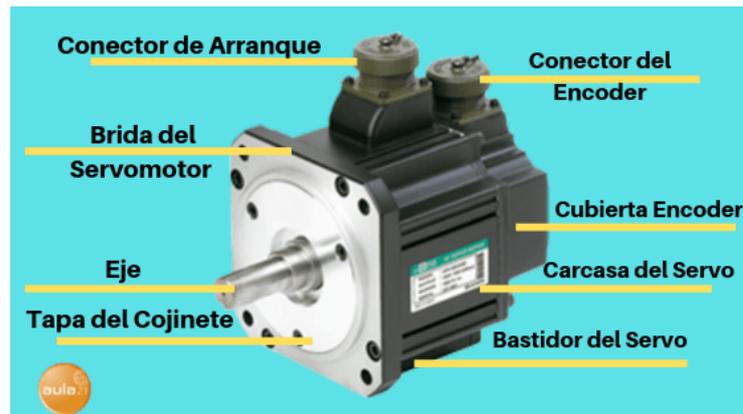
- Puerto USB: Mediante este puerto se cargan las instrucciones a ejecutar, el programa que se ha realizado en el entorno de programación de Arduino, es decir es una comunicación Arduino-Ordenador.
- Microprocesador: Realiza las instrucciones almacenadas en el programa de forma cíclica. Es un circuito integrado que contiene muchas de las mismas cualidades que una computadora.
- Pines de entrada y salida: Permiten conectar elemento que dan información y crean actuaciones.
- Botón de reset: Permite reiniciar el programa y cargar uno nuevo. (Arduino, 2018)

### 1.3.3. Servomotores

Es un motor de CC que tiene acoplado un sistema de transmisión o moto reductor que permite disminuir la velocidad y aumentar el torque. Además, posee características especiales de control de posición, el cual está compuesto por componentes electromecánicos y electrónicos. También está diseñado para moverse una determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición (Centro de Formacion Tecnica para la Insdustria, 2015).

#### 1.3.3.1. Componentes

Los servos poseen tres componentes principales: un motor, un variador (amplificador) y un mecanismo de retroalimentación. También tiene una fuente de alimentación y un servocontrolador capaz de controlar un solo eje o coordinar el movimiento de varios ejes, también es considerado el cerebro del sistema del servomotor. En la figura 14-1 se observa las partes que conforma el servomotor.



**Figura 14-1:** Las partes del servomotor  
Fuente: (Centro de Formacion Tecnica para la Insdustria, 2015)

#### 1.3.3.2. Funcionamiento

Los servomotores generalmente tienen tres cables mientras que los motores comunes solamente tienen dos cables a diferencia. Estos tres cables casi siempre tienen los mismos colores que son de fácil reconocimiento, aunque a veces depende del fabricante (Centro de Formacion Tecnica para la Insdustria, 2015). En la figura 15-1 se observa los colores que puede tener los cables del servomotor.

Voltaje positivo	Tierra (ground)	Señal de control
Rojo	Negro	Marrón, Amarillo, Blanco, Naranja

**Figura 15-1:** Los colores de los cables del servomotor  
Fuente: (Centro de Formacion Tecnica para la Insdustria, 2015)

Para controlar un servomotor se necesita de una señal de control PWM de onda cuadrada. El posicionamiento depende del ancho del pulso donde se logra un ángulo de giro de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $180^\circ$  con anchos de pulso 0.5, 1.5 y 2.5 (ms) respectivamente. (Centro de Formacion Tecnica para la Industria, 2015).

#### **1.3.4. Impresora 3D**

Este tipo de impresora se remonta en el año 1976, cuando se inventó la primera impresora de inyección de tinta, pero desde entonces la tecnología ha ido evolucionando y se han realizado mejoras como la impresora 3D el cual es capaz de construir un objeto en tres dimensiones (x, y, z) partiendo de un modelo digital. En la actualidad se usa para la medicina, automoción, alimentación, defensa, aeroespacial, educación, arte, arquitectura, etc. (Lopez C., 2016).

La impresión 3D se define como el proceso de acumular material secuencialmente en una cama hasta formar un objeto con sus tres dimensiones (largo, ancho y alto) a través de diferentes métodos de fabricación como polimerización, inyección de aporte, inyección de aglutinante, extrusión de material, cama de polvo, laminación de metal y depósito metálico (Lopez C., 2016).

El funcionamiento de la impresora se detalla a continuación (Lopez C., 2016):

1. Modelación digital: Crear un modelo 3D del objeto que se va a imprimir para ello se utiliza el software llamado CAD.
2. Exportación: generar un archivo en el formato que por lo general es en STL y donde contendrá toda la información geométrica necesaria.
3. Rebanado: Convertir el modelo digital en una lista de comandos para que la impresora entienda y ejecute el llamado código.
4. Conexión: Instruir a la impresora mediante una conexión de USB a una PC o a su vez copiando el archivo digital en una tarjeta de memoria que pueda ser leído por la impresora.
5. Impresión: Preparar la impresora y comenzar con la impresión.
6. Acabado: Quitar de la plataforma de impresión (cama) el objeto recién creado y eliminar las partes adicionales para limpiar su superficie.

En la figura 16-1 se observa la impresión de un objeto en la impresora 3D



**Figura 16-1:** Impresora 3D  
Fuente: (Lopez C., 2016)

## 1.4. Software

Es la parte lógica, intangible de un sistema, que comprende el conjunto de componentes lógicos necesarios el cual hace posible la creación del dispositivo.

### 1.4.1. *Android Studio*

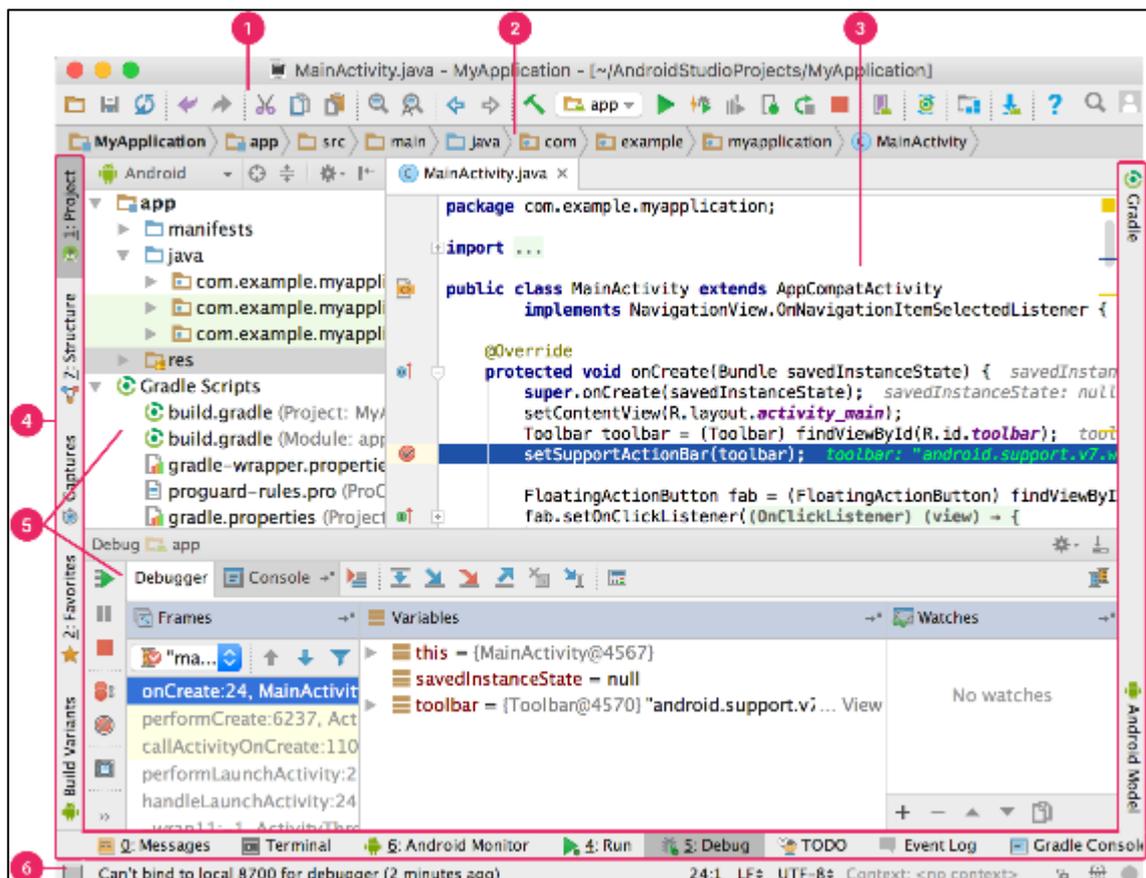
Es un software que posee un entorno de desarrollo el cual cuenta con herramientas y servicios para que los desarrolladores creen nuevas aplicaciones, también es un potente editor de códigos y herramientas. Además, ofrece más funciones que aumentan la productividad al momento de desarrollar apps para Android, como las siguientes (Ferreño, 2019):

- Un sistema de compilación flexible basado en Gradle
- Un emulador rápido y cargado de funciones
- Un entorno unificado donde puedes desarrollar para todos los dispositivos Android
- Aplicación de cambios para insertar cambios de códigos y recursos a la aplicación en ejecución sin reiniciar la aplicación
- Integración con GitHub y plantillas de código para ayudarte a compilar funciones de apps comunes y también importar código de muestra
- Variedad de marcos de trabajo y herramientas de prueba
- Herramientas de Lint para identificar problemas de rendimiento, usabilidad y compatibilidad de la versión, entre otros
- Compatibilidad con C++ y NDK

- Compatibilidad integrada con Google Cloud Platform, que facilita la integración con Google Cloud Messaging y App Engine

#### 1.4.1.1. Interfaz de usuario

En la figura 17-1 se observa la ventana principal de Android Studio consta de varias áreas lógicas y de las cuales se detallan a continuación (Ferreño, 2019):



**Figura 17-1:** Ventana principal de Android Studio

Fuente: (Ferreño, 2019)

1. La barra de herramientas te permite realizar una gran variedad de acciones, como ejecutar tu app e iniciar las herramientas de Android.
2. La barra de navegación te ayuda a explorar tu proyecto y abrir archivos para editar. Proporciona una vista más compacta de la estructura visible en la ventana Project.
3. La ventana del editor es el área en la que puedes crear y modificar código. Según el tipo de actividad actual, el editor puede cambiar. Por ejemplo, cuando ves un archivo de diseño, el editor muestra el Editor de diseño.
4. La barra de la ventana de herramientas se encuentra afuera de la ventana del IDE y contiene los botones que te permiten expandir o contraer ventanas de herramientas individuales.

5. Las ventanas de herramientas te brindan acceso a tareas específicas, como la administración de proyectos, la búsqueda, el control de versiones, entre otras. Puedes expandirlas y contraerlas.
6. En la barra de estado, se muestra el estado de tu proyecto y el IDE, además de advertencias o mensajes.

#### **1.4.2. *Arduino***

Desde que se crearon por primera vez las primeras PCs, la programación fue un proceso bastante esotérico. Con todos sus códigos y símbolos la programación nunca fue fácil para los principiantes. Por lo general, se requieren años y años de estudio para descifrar incluso los conceptos más básicos, y es especialmente difícil aplicar estos códigos a dispositivos de trabajo reales. Hoy en día, sin embargo, saber cómo codificar y programar es una habilidad muy útil para tener.

El *software* Arduino es un IDE de código abierto por lo tanto el programa que se realiza es escrito en distintos tipos de lenguajes de programación como C, Fortran o BASIC que facilita la escritura de códigos y su carga a la placa con el mismo nombre, además su código fuente se encuentra alojado en GitHub. Para transportar el código de la PC a la placa se realiza mediante un puerto USB (Arduino.org, 2016).

#### **1.4.3. *Impresora 3D***

Cada pieza en 3D vienen dadas de un modelo digital creado en un *software* de modelado. Con mayor frecuencia se usa un *software* CAD de los cuales existen muchos en el mercado al que también se les puede unir otros programas para optimizar o simular modelos 3D (3D NATIVES).

Al momento de imprimir se debe tener en cuenta varios parámetros a utilizarse aún más cuando se desea imprimir en 3D. Por lo tanto, es importante planificar por adelantado las geometrías, características mecánicas, peso, costos soportes impresos, etc.

##### **1.4.3.1. *Programas de modelización en 3D***

Cuando se trata de diseñar una pieza existen varias opciones como el modelado de sólidos, superficies e incluso orgánicos. La selección de este *software* dependerá de la necesidad y la representación que se quiere dar al objeto impreso en 3D.

- *Software* de modelado sólido

Combina un *software* CAD y uno de modelado directo. El modelado sólido usa un diseño paramétrico que permite definir un modelo 3D con parámetros fácilmente reemplazables. Este tipo de solución permite al usuario cambiar la definición de una parte, ya sea su longitud, su ángulo, sus coordenadas relativas a una referencia o incluso la distancia. Entre los *softwares* 3D más conocidos que integra estas funciones, encontramos Solidworks, Catia, CREO, Fusion 360 o FreeCAD (3D NATIVES).

- *Software* de modelado de superficies

Este *software* define la superficie del objeto y no su interior. Mayormente se usa en sectores artísticos y la animación en 3D. Las soluciones más conocidas son Catia de Dassault Systèmes, Blender y Rhinoceros (3D NATIVES).

- *Software* de modelado orgánico

Permite crear superficies de forma libre con detalles muy complejos y en general se utiliza para diseñar personajes o esculturas. Los *softwares* que son más usados son ZBrush de Pixologic y Mudbox de Autodesk (3D NATIVES).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

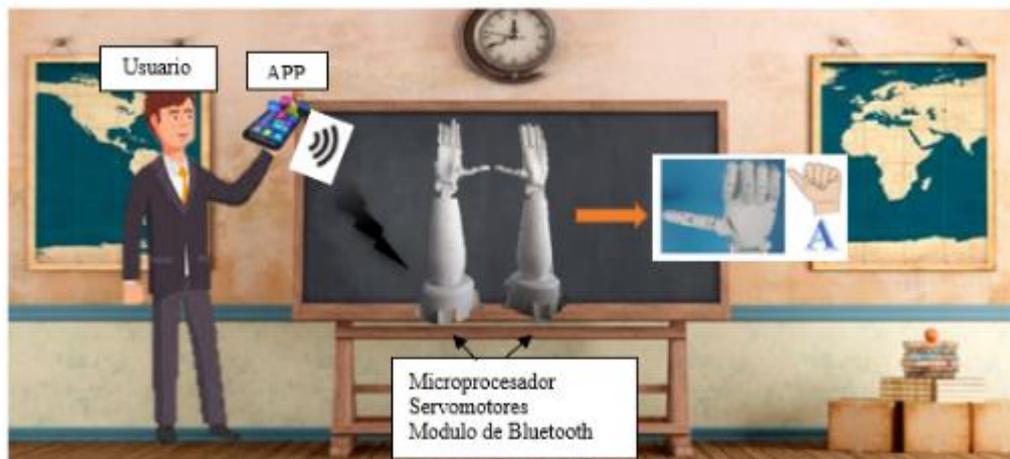
En el presente capítulo se detallan las etapas que conforman el desarrollo del robot didáctico y los elementos a utilizarse tanto *hardware* como *software* para llevar a cabo el trabajo de titulación además se especifican las características de las mismas.

#### 2.1. Requerimientos del sistema

Por medio del análisis realizado en el capítulo I se determinó los requerimientos necesarios del diseño para satisfacer el ensamblaje y funcionamiento del robot didáctico y de esta forma tratar de ayudar en la enseñanza/ aprendizaje de los niños con discapacidad auditiva:

- Seleccionar un procesador el cual sea capaz de procesar la información y transmitirla al robot.
- Seleccionar los materiales adecuados para la impresión de cada pieza del brazo robótico
- Seleccionar los servomotores que se adecuen correctamente para la movilidad de cada brazo robótico incluyendo sus dedos
- Seleccionar una fuente de alimentación capaz de alimentar a todo el brazo robótico.

#### 2.2. Descripción general del dispositivo



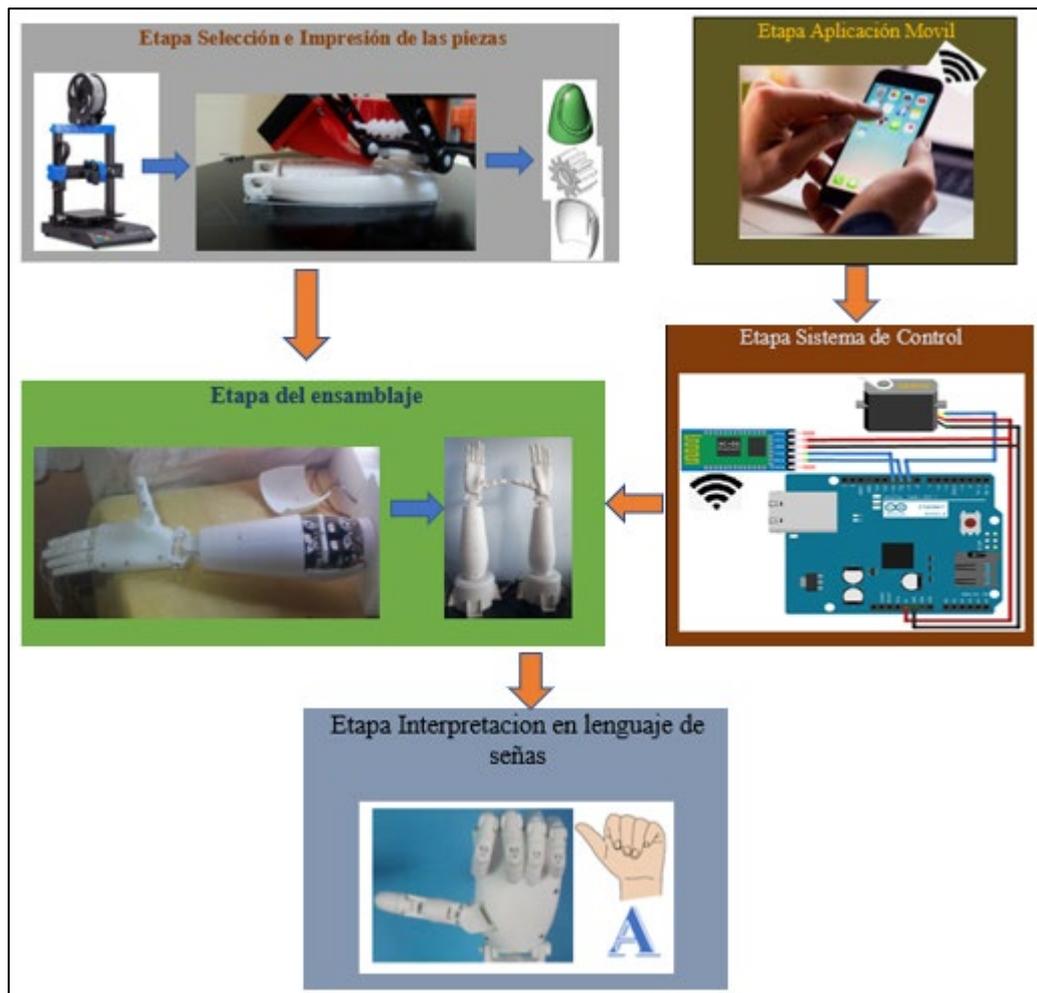
**Figura 1-2:** Esquema Aplicativo  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Para la realización de este proyecto, se aplica los conocimientos que se fue adquiriendo durante la carrera, con el objetivo de desarrollar un dispositivo capaz de realizar movimientos de las manos de un brazo robótico para generar el lenguaje de señas que utilizan las personas con

discapacidad auditiva, entendiendo que será algo novedoso y dinámico para los niños a quien va dirigido este tema. En la figura 1-2 se muestra el esquema explicativo del funcionamiento del brazo robótico.

### 2.3. Concepción general del dispositivo

Para la realización de este proyecto de titulación en primer lugar se procede a la selección del robot que se adapte a las necesidades del mismo para después proceder a su descarga e impresión en 3D de todas las piezas del antebrazo del robot para así comenzar con el ensamblaje del mismo incluyendo los servomotores, el microprocesador Arduino y un módulo de bluetooth que servirá como medio de transmisión de la señal mediante un aplicación móvil el cual informara al brazo robótico que realice el movimiento de las manos para formar el alfabeto y números en lenguaje de señas, como se observa en la figura 2-2. Este dispositivo se crea con el fin de ayudar a docentes que prestan el servicio de educación mediante el lenguaje de señas para así instruir a niños que padezcan este tipo de discapacidad, ya que este será de utilidad y dinámico para ellos.



**Figura 2-2:** Etapas del diseño del brazo robótico  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

### 2.3.1. *Etapa Selección e Impresión de las piezas*

En esta etapa se escogerá cual es el robot adecuado para la realización de este proyecto, así como también los materiales adecuados para la impresión en 3D de cada una de las piezas que conforma el brazo robótico.

#### 2.3.1.1. *Selección del material adecuado para la impresión 3D*

En la tabla 1-2 se compara todos los materiales existentes en el mercado verificando sus propiedades, resistencia, manufactura, etc. para así escoger el adecuado para posteriormente realizar la impresión en 3D.

**Tabla 1-2:** Características de los distintos materiales para la impresión

<b>Tipo de material</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
ABS	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es uno de los materiales más accesibles y económicos para la impresión 3D.</li><li>• Tiene una amplia variedad de colores.</li><li>• Tiene una vida útil más larga.</li><li>• Es mecánicamente fuerte.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se requiere cama caliente al imprimir</li><li>• Se produce deformaciones si se enfrían durante la impresión.</li><li>• Es un material tóxico no biodegradable que libera humos tóxicos, cuyo olor se torna muy fuerte a altas temperaturas.</li></ul>
PLA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es fácil de imprimir ya que tiene poca deformación.</li><li>• También se puede imprimir sobre una superficie fría.</li><li>• Puede imprimir con esquinas y características más nítidas en comparación con el material ABS.</li><li>• Es un material biodegradable no contaminante ya que este se deriva del almidón</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No son muy resistentes y pueden deformarse cuando se exponen a calor extremo.</li><li>• Este tipo de material es menos robusto.</li></ul>
Nailon	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es durable</li><li>• Tiene una excelente relación fuerza-flexibilidad.</li><li>• Es capa de recuperar su elasticidad luego de su deformación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Como el nailon es hidrocópico, debe mantenerse seco.</li><li>• Tiene una vida útil de 12 meses.</li><li>• Este material puede encogerse durante el enfriamiento, por lo</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Este tipo de material puede ser fácilmente teñido o coloreado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tanto, las impresiones pueden ser menos precisas.</li> <li>La idoneidad de la impresora también varía.</li> </ul>
Resina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza en muchas aplicaciones.</li> <li>Tiene baja contracción.</li> <li>Tienen alta resistencia química.</li> <li>Este material es rígido y delicado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es costoso.</li> <li>Este tipo de material o expira.</li> <li>Debe almacenarse de forma segura debido a su alta reactividad fotográfica.</li> <li>Cuando se expone al calor, puede causar una polimerización prematura.</li> </ul>

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Fuente: (3D NATIVES)

**Tabla 2-2:** Propiedades mecánicas de los materiales ABS y PLA

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tensión x 1000 psi	Máxima Temperatura de uso °C
ABS	1.05-1.07	5.9	210-260
PLA	1.24	5.5	190-200

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Fuente: (3D NATIVES)

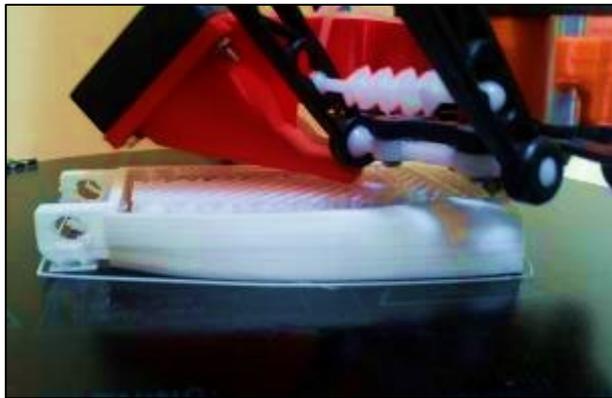
En la tabla 2-2 se toma en cuenta solamente el material ABS y PLA ya que estos son los más aceptables para la impresión por lo tanto se procede a verificar las propiedades mecánicas de cada una de ellas, en el cual se observa que existe una pequeña variación en los materiales siendo el ABS el más resistente, pero por otro lado el PLA tiene buenas propiedades de moldeo para la impresión ya que los acabados son más finos y estéticos. Después de realizar el análisis en las tablas 1-2 y 2-2 se concluye que el material adecuado para la impresión 3D del brazo robótico es el PLA por su facilidad de impresión a baja temperatura y de alta calidad en acabados, además que es amigable con el medio ambiente.

### 2.3.1.2. *Seleccionar las piezas digitales del brazo robótico*

Después de una exhaustiva investigación se concluyó que el robot InMoov es el adecuado para el desarrollo de este proyecto porque su tamaño es de 1,80 centímetros de alto parecido al de un humano ya que para la realización de las señas se necesita que posea los brazos y las manos similares a la de un humano para al momento de general los movimientos sea entendido por el niño sordo como así también es de código abierto el cual se hace fácil en su programación y manipulación.

### 2.3.1.3. *Impresión de las piezas en 3D del brazo robótico*

Una vez establecido el tipo de robot que se va a utilizar se procede a la impresión de las piezas utilizando una impresora 3D, todas estas piezas deben estar en formato STL el cual esta estandarizada para las tecnologías de fabricación aditiva que utiliza triángulos cerrados para definir la forma del modelo. Para tener impresiones de alta calidad de debe configurar el *software* de impresión de acuerdo con la necesidad y complejidad del modelo teniendo en cuenta los siguientes parámetros: temperatura, velocidad, tiempo y tipo de soporte. Además, es necesario saber que una impresión de alta o baja calidad dependerá directamente del tiempo y la velocidad de impresión. Para que no exista fricción de las piezas al momento de armarlo se limpiara todas las piezas y así tener un ensamble adecuado. En la figura 3-2 se observa el proceso de impresión de una de las piezas en la impresora 3D.



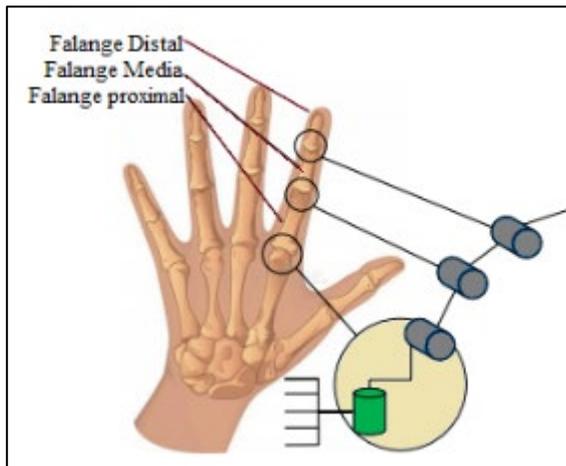
**Figura 3-2:** Impresión 3D de la palma de la mano  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

### 2.3.2. *Etapa Sistema de Control*

Para el diseño de esta etapa se procede a realizar el análisis del comportamiento del brazo robótico el cual está compuesto por articulaciones que permite el giro del dedo y a la selección de los equipos que se van a utilizar en el sistema de control del brazo robótico, como se detalla a continuación.

#### 2.3.2.1. *Modelamiento Cinemático*

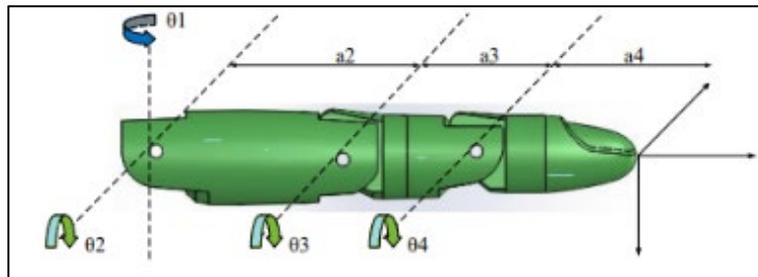
Para el modelamiento del brazo robótico primeramente se procede al análisis anatómico de los dedos los cuales se determinó que el dedo índice, medio, anular y meñique poseen 3 GDL y el pulgar solamente posee 2 GDL (Amangandi A., 2018), como se observa en la figura 4-2.



**Figura 4-2:** Análisis Anatómico de los dedos  
 Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

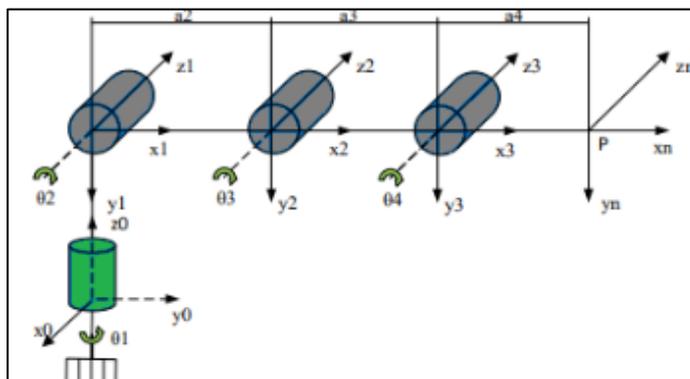
- **Cinemática Directo**

En la figura 5-2 se observa el análisis cinemático de los dedos en donde se define el sistema de coordenadas de cada una de las articulaciones.



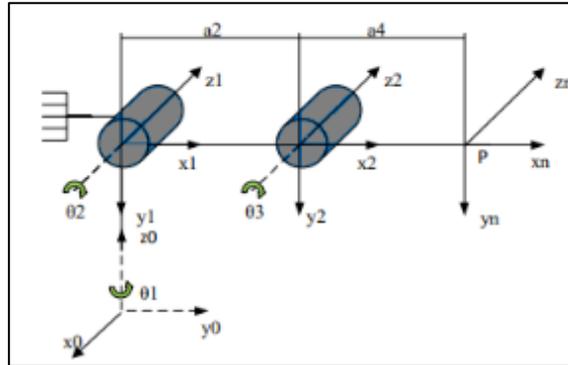
**Figura 5-2:** Sistema de coordenadas del dedo  
 Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Una vez definida el sistema se procede a la ecuación de Denavit-Hartenberg indicado en el capítulo I. Para la base se establece un sistema de referencia en 0 ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) y para las demás articulaciones cambiara los ejes de rotación según corresponda. Las variables articulares que generan movimientos rotacionales están definidas por  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  y  $\theta_4$ . En la figura 6-2 se observa el bosquejo de D-H de los dedos índice, medio, anular y meñique.



**Figura 6-2:** Esquema D-H para de los dedos que poseen 3 GDL  
 Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

En la figura 7-2 se observa el esquema del dedo pulgar



**Figura 7-2:** Esquema D-H para el dedo pulgar  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Una vez realizado en análisis esquemático de todos los dedos se procede a establecer los parámetros D-H ( $\theta$ ,  $d$ ,  $a$ ,  $\alpha$ ) como se observa en la tabla 3-2 y 4-2.

**Tabla 3-2:** Parámetros D-H para los dedos que poseen 3 GDL

Articulación	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$
1	$90^\circ$	0	0	$-90^\circ$
2	0	0	$a_2$	0
3	0	0	$a_3$	0
4	0	0	$a_4$	0

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

**Tabla 4-2:** Parámetro D-H para el dedo pulgar

Articulación	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$
1	$90^\circ$	0	0	$-90^\circ$
2	0	0	$a_2$	0
3	0	0	$a_4$	0

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

- **Resolución cinemático directo**

En la ecuación 1-2 se muestra la fórmula para la resolución cinemático directo mediante matrices homogéneas con respecto a los eslabones.

$$T = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_3^2 \cdot A_4^3 \quad (1-2)$$

Una vez definidos los parámetros se procede a hallar las matrices con respecto a cada eslabón como se muestra en la ecuación 2-2, 3-2, 4-2 y 5-2.

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & a_2 * C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & a_2 * S\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & a_3 * C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & a_3 * S\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-2)$$

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} C\theta_4 & -S\theta_4 & 0 & a_4 * C\theta_4 \\ S\theta_4 & C\theta_4 & 0 & a_4 * S\theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

Para hallar la matriz homogénea T se procede a multiplicar todas las matrices para cada eslabón como se indica en la ecuación 1-2 y el resultado se muestra en la ecuación 6-2.

$$T = \begin{bmatrix} C_4 C_1 C_{23} - S_4 C_1 S_{23} & -C_4 C_1 S_{23} - S_4 C_1 C_{23} & -S_1 & a_2 C_1 C_2 + a_4 C_1 C_4 C_{23} - a_4 C_1 S_4 S_{23} + a_3 C_1 C_{23} \\ C_4 S_1 C_{23} - S_4 S_1 S_{23} & -C_4 S_1 S_{23} - S_4 S_1 C_{23} & C_1 & a_2 S_1 C_2 + a_4 S_1 C_4 C_{23} - a_4 S_1 S_4 S_{23} + a_3 S_1 C_{23} \\ -C_4 S_{23} - S_4 C_{23} & S_4 S_{23} - C_4 C_{23} & 0 & -a_2 S_2 - a_3 S_{23} - a_4 C_4 S_{23} - a_4 S_4 C_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-2)$$

La posición del final del dedo se observa en la cuarta fila de la matriz T y del cual se extrae para hallar la cinemática directa. En las ecuaciones 7-2, 8-2 y 9-2 se muestra dicha columna.

$$P_x = a_2 C_1 C_2 + a_4 C_1 C_4 C_{23} - a_4 C_1 S_4 S_{23} + a_3 C_1 C_{23} \quad (7-2)$$

$$P_y = a_2 S_1 C_2 + a_4 S_1 C_4 C_{23} - a_4 S_1 S_4 S_{23} + a_3 S_1 C_{23} \quad (8-2)$$

$$P_z = -a_2 S_2 - a_3 C_1 S_{23} - a_4 C_4 S_{23} - a_4 S_4 C_{23} \quad (9-2)$$

Para el dedo pulgar se realizó los mismos cálculos que los demás dedos, como se muestra en las ecuaciones 10-2, 11-2, 12-2, 13-2, 14-2, 15-2 y 16-2 respectivamente.

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10-2)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & a_2 * C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & a_2 * S\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & a_4 * C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & a_4 * S\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12-2)$$

$$T = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & -S_1 & C_1(a_2 C_2 + a_4 C_{23}) \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & C_1 & S_1(a_2 C_2 + a_4 C_{23}) \\ -S_{23} & -C_{23} & 0 & -a_2 S_2 - a_4 S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13-2)$$

Las ecuaciones para determinar la posición del dedo son:

$$P_x = C_1(a_2 C_2 + a_4 C_{23}) \quad (14-2)$$

$$P_y = S_1(a_2 C_2 + a_4 C_{23}) \quad (15-2)$$

$$P_z = -a_2 S_2 - a_4 S_{23} \quad (16-2)$$

### Longitud de las falanges

En la tabla 5-2 se observa las longitudes de las falanges de los dedos de la mano robótica, los ángulos de los movimientos rotacionales y el valor que tendrá la ubicación del efector final ya que la longitud de las falanges de los dedos no son los mismos ya una vez encontrada el resultado de la cinemática directa se procede a cambiar las variables de las mismas.

**Tabla 5-2:** Longitud de las falanges de los dedos

Dedos	Longitud (mm)			Movimiento rotacional				Ubicación Efecto final		
	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	θ <sub>1</sub>	θ <sub>2</sub>	θ <sub>3</sub>	θ <sub>4</sub>	x	y	z
Pulgar	36	-	40	pi/2	0	0	-	0	76	0
Índice	35	25	23	pi/2	θ <sub>3</sub>	θ <sub>2</sub>	0	0	83	0
Medio	42	30	20	pi/2	θ <sub>3</sub>	θ <sub>2</sub>	0	0	92	0
Anular	34	30	22	pi/2	θ <sub>3</sub>	θ <sub>2</sub>	0	0	86	0
Meñique	28	23	19	pi/2	θ <sub>3</sub>	θ <sub>2</sub>	0	0	70	0

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Fuente: (Amangandi A., 2018)

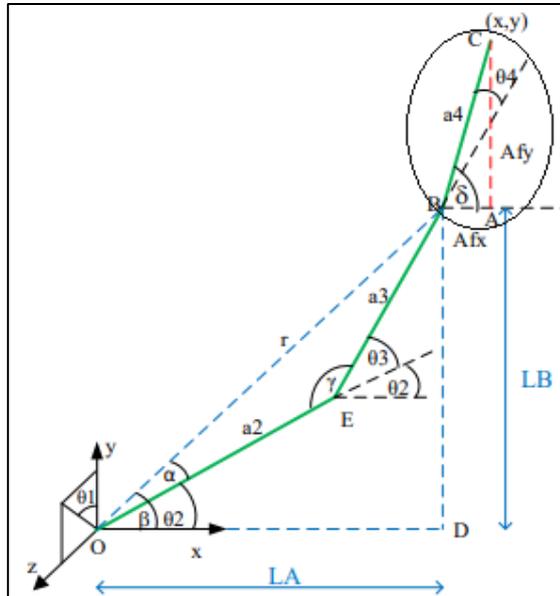
- **Cinemático inverso**

Una vez determinada la posición y orientación del efector final se procede a hallar las coordenadas articulares que debe tener el brazo robótico.

### *Método geométrico*

Es usado en robots que tengan pocos GDL y donde se forman triángulos y rectángulos para posteriormente aplicar la ley del seno y coseno. El procedimiento se basa en hallar el suficiente número de relaciones geométricas en donde intervienen las coordenadas del extremo del robot, coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos (Barrientos, y otros, 2007).

Los datos de partida son las coordenadas  $(x, y, z)$  con respecto al eje de referencia en las que se desea posicionar su extremo. El mecanismo se moverá en el plano XY con respecto al eje Z y también se moverá en el plano YZ con respecto al eje X como se observa en la figura 8-2.



**Figura 8-2:** Cinemático Inverso de los dedos que poseen 3 GDL  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

En la ecuación 17-2 se obtiene la función trigonométrica del triángulo ABC con el ángulo  $\delta$  de la figura 8-2.

$$\begin{aligned} Afx &= a_4 \cos(\delta) \\ Afy &= a_4 \sin(\delta) \end{aligned} \quad (17-2)$$

Los segmentos LA y LB están definidos por la ecuación 18-2:

$$\begin{aligned} LA &= x - Afx \\ LB &= y - Afy \end{aligned} \quad (18-2)$$

En el triángulo rectángulo BOD se aplica el teorema de Pitágoras como se muestra en la ecuación 19-2.

$$r = \sqrt{LA^2 + LB^2} \quad (19-2)$$

Siendo:

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{LB}{LA}\right) \quad (20-2)$$

$$\alpha = \operatorname{acos}\left(\frac{r^2 + a_2^2 - a_3^2}{2ra_2}\right) \quad (21-2)$$

$$\gamma = \operatorname{acos}\left(\frac{a_2^2 + a_3^2 - r^2}{2a_2a_3}\right) \quad (22-2)$$



$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (26-2)$$

$$\alpha = \operatorname{acos}\left(\frac{r^2 + a_2^2 - a_4^2}{2ra_2}\right) \quad (27-2)$$

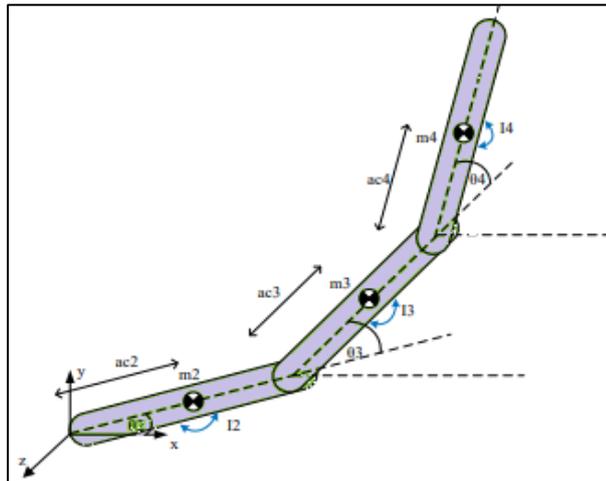
$$\gamma = \operatorname{acos}\left(\frac{a_2^2 + a_4^2 - r^2}{2a_2a_4}\right) \quad (28-2)$$

Sustituyendo las ecuaciones 25-2, 26-2, 27-2 y 28-2 se obtienen  $\theta_2$  y  $\theta_4$  para el dedo pulgar que se moverá en el plano XY respecto al eje Z:

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \beta - \alpha \\ \theta_2 &= \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) - \operatorname{acos}\left(\frac{x^2 + y^2 + a_2^2 - a_4^2}{2a_2\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \\ \theta_4 &= 180^\circ - \gamma \\ \theta_4 &= 180^\circ - \operatorname{acos}\left(\frac{a_2^2 + a_4^2 - (x^2 + y^2)}{2a_2a_4}\right) \end{aligned} \quad (29-2)$$

### 2.3.2.2. Modelamiento dinámico inverso

Para determinar las fuerzas y pares para conseguir una evolución en las coordenadas articulares se usa la fórmula de Lagrange, basada en consideraciones energéticas. En la figura 10-2 se observa los eslabones con masa concentrada de los dedos que poseen 3GDL.



**Figura 10-2:** Eslabón con masa concentrada en los dedos que poseen 3 GDL  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

### Energía cinética

Se define la posición  $(x, y)$  del centro de gravedad de los eslabones a través de trigonometría para la falange proximal como se muestra en las ecuaciones 30-2 y 31-2.

$$x_2 = a_{c2} \cos(\theta_2) \quad (30-2)$$

$$y_2 = a_{c2} \sin(\theta_2) \quad (31-2)$$

En las ecuaciones 32-2 y 33-2 se muestra la resolución para la posición de la falange medial.

$$x_3 = a_2 \cos(\theta_2) + a_{c3} \cos(\theta_2 + \theta_3) \quad (32-2)$$

$$y_3 = a_2 \sin(\theta_2) + a_{c3} \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (33-2)$$

En las ecuaciones 32-2 y 33-2 se muestra la resolución para la posición para la falange distal.

$$x_4 = a_2 \cos(\theta_2) + a_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_{c4} \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \quad (34-2)$$

$$y_4 = a_2 \sin(\theta_2) + a_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_{c4} \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \quad (35-2)$$

Derivación de la posición respecto al tiempo de las distintas falanges son:

Falange Proximal

$$\dot{x}_2 = -a_{c2} \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) \quad (9)$$

$$\dot{y}_2 = a_{c2} \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \quad (37-2)$$

Falange Medial

$$\dot{x}_3 = -a_2 \dot{\theta}_2 S_2 - a_{c3} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_{23} \quad (38-2)$$

$$\dot{y}_3 = a_2 \dot{\theta}_2 C_2 + a_{c3} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_{23} \quad (39-2)$$

Falange Distal

$$\dot{x}_4 = -a_2 \dot{\theta}_2 S_2 - a_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_{23} - a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) S_{234} \quad (40-2)$$

$$\dot{y}_4 = a_2 \dot{\theta}_2 C_2 + a_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_{23} + a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) C_{234} \quad (41-2)$$

La energía cinética para los eslabones se reemplaza en la ecuación (7-1) y la velocidad angular viene dada por  $\omega_2 = \dot{\theta}_2$  es:

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m_2 \left[ a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 (\sin^2(\theta_2) + \cos^2(\theta_2)) \right] + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 \quad (42-2)$$

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m_2 a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 \quad (43-2)$$

En la ecuación 44-2 se muestra la resolución de la energía cinética para la falange medial.

$$E_{c3} = \frac{1}{2}m_3 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_{c3}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + 2a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_3 \right] + \frac{1}{2}I_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 \quad (44-2)$$

Donde la velocidad angular depende de los dos ángulos  $\omega_3 = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3$ .

En la ecuación 45-2 se muestra la resolución de la energía cinética para la falange distal.

$$E_{c4} = \frac{1}{2}m_4 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_3^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2 + 2a_2 a_3 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_3 + 2a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) C_{34} + 2a_3 a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) C_4 \right] + \frac{1}{2}I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2 \quad (45-2)$$

Donde la velocidad angular depende de los tres ángulos  $\omega_4 = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4$ .

### ***Energía potencial***

Para la resolución de la energía potencial se define en función de las alturas del centro de masas de cada uno de los eslabones de las distintas falanges como se muestra en la ecuación 46-2, 47-2 y 48-2.

$$\text{Falange proximal: } E_{p2} = m_2 g a_{c2} S_2 \quad (46-2)$$

$$\text{Falange medial: } E_{p3} = m_3 g (a_2 S_2 + a_{c3} S_{23}) \quad (47-2)$$

$$\text{Falange distal: } E_{p4} = m_4 g (a_2 S_2 + a_3 S_{23} + a_{c4} S_{234}) \quad (48-2)$$

### ***Ecuación de la Dinámica***

Primera ecuación dinámica para  $\tau_1$ , se reemplaza las energías cinética y potencia en la ecuación 6-1 se obtiene la función de Lagrange como se muestra en la ecuación 49-2.

$$L = E_{c2} + E_{c3} + E_{c4} - E_{p2} - E_{p3} - E_{p4}$$

$$L = \frac{1}{2}m_2 a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}I_2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m_3 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_{c3}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + 2a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_3 \right] + \frac{1}{2}I_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + \frac{1}{2}m_4 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_3^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2 + 2a_2 a_3 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) C_3 + 2a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) C_{34} + 2a_3 a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) C_4 \right] + \frac{1}{2}I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)^2 - m_2 g a_{c2} S_2 - m_3 g (a_2 S_2 + a_{c3} S_{23}) - m_4 g (a_2 S_2 + a_3 S_{23} + a_{c4} S_{234}) \quad (49-2)$$

Se deriva la función lagrangiana (L) con respecto a la posición articular de cada eslabón.

Falange proximal, la variable articular ( $\theta_2$ ) se deriva respecto a  $\dot{\theta}_2$ .

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = & m_2 a_{c2}^2 \dot{\theta}_2 + I_2 \dot{\theta}_2 + m_3 [a_2^2 \dot{\theta}_2 + a_{c3}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)] \\ & + I_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + m_4 [a_2^2 \dot{\theta}_2 + a_3^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \\ & + a_2 a_3 C_3 (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_3 a_{c4} C_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] \\ & + I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \end{aligned} \quad (50-2)$$

La ecuación 50-2 se deriva con respecto al tiempo.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} \right) = & m_2 a_{c2}^2 \ddot{\theta}_2 + I_2 \ddot{\theta}_2 + m_3 [a_2^2 \ddot{\theta}_2 + a_{c3}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - a_2 a_{c3} \dot{\theta}_3 S_3 (2\dot{\theta}_2 + \\ & \dot{\theta}_3)] + I_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_4 [a_2^2 \ddot{\theta}_2 + a_3^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_3 C_3 (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - \\ & a_2 a_3 \dot{\theta}_3 S_3 (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_2 a_{c4} S_{34} (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + \\ & a_3 a_{c4} C_4 (2\ddot{\theta}_2 + 2\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) \end{aligned} \quad (51-2)$$

Derivada parcial respecto a  $\frac{\partial L}{\partial \theta_2}$  se tiene:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = -m_2 g a_{c2} C_2 - m_3 g (a_2 C_2 + a_{c3} C_{23}) - m_4 g (a_2 C_2 + a_3 C_{23} + a_{c4} C_{234}) \quad (52-2)$$

Reemplazando en la ecuación (6-1) se obtiene  $\tau_1$  el torque producido para la ecuación de Euler-Lagrange:

$$\begin{aligned} \tau_1 = & \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} \\ \tau_1 = & m_2 a_{c2}^2 \ddot{\theta}_2 + I_2 \ddot{\theta}_2 + m_3 [a_2^2 \ddot{\theta}_2 + a_{c3}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - a_2 a_{c3} \dot{\theta}_3 S_3 (2\dot{\theta}_2 + \\ & \dot{\theta}_3)] + I_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_4 [a_2^2 \ddot{\theta}_2 + a_3^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_3 C_3 (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) - \\ & a_2 a_3 \dot{\theta}_3 S_3 (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_2 a_{c4} S_{34} (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + \\ & a_3 a_{c4} C_4 (2\ddot{\theta}_2 + 2\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + m_2 g a_{c2} C_2 + \\ & m_3 g (a_2 C_2 + a_{c3} C_{23}) + m_4 g (a_2 C_2 + a_3 C_{23} + a_{c4} C_{234}) \end{aligned} \quad (53-2)$$

Segunda ecuación dinámica para  $\tau_2$ , se deriva la ecuación de Lagrange con respecto  $\dot{\theta}_3$  se obtiene:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_3} = m_3 [a_{c3}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (\dot{\theta}_2)] + I_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + m_4 [a_3^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_2 a_3 C_3 (\dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (\dot{\theta}_2) + a_3 a_{c4} C_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \quad (54-2)$$

La ecuación 54-2 se deriva respecto al tiempo:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_3} \right) = & m_3 [a_{c3}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 S_3 (\dot{\theta}_3)] + I_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_4 [a_3^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + \\ & a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_3 C_3 (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_3 \dot{\theta}_2 S_3 (\dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c4} S_{34} (\dot{\theta}_2) (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + \\ & a_3 a_{c4} C_4 (2\ddot{\theta}_2 + 2\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) \end{aligned} \quad (55-2)$$

La derivada parcial respecto a  $\frac{\partial L}{\partial \theta_3}$  se muestra en la ecuación 56-2:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_3} = -m_3 a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_3 - m_4 a_2 a_3 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_3 - m_4 a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) S_{34} - m_3 g a_{c3} C_{23} - m_4 g (a_3 C_{23} + a_{c4} C_{234}) \quad (56-2)$$

Se obtiene  $\tau_2$  el torque producido para la segunda ecuación de Euler-Lagrange:

$$\tau_2 = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_3} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_3}$$

$$\tau_2 = m_3 [a_{c3}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_2 a_{c3} C_3 (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 S_3 (\dot{\theta}_3)] + I_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_4 [a_2^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_3 C_3 (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_3 \dot{\theta}_2 S_3 (\dot{\theta}_3) + a_2 a_{c4} C_{34} (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c4} S_{34} (\dot{\theta}_2) (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_3 a_{c4} C_4 (2\ddot{\theta}_2 + 2\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (2\dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + m_3 a_2 a_{c3} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_3 + m_4 a_2 a_3 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) S_3 + m_4 a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) S_{34} + m_3 g a_{c3} C_{23} + m_4 g (a_3 C_{23} + a_{c4} C_{234}) \quad (57-2)$$

Tercera ecuación dinámica para  $\tau_3$ , se deriva la ecuación de Lagrange con respecto  $\theta_4$  se obtiene:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_4} = m_4 [a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_2 a_{c4} C_{34} (\dot{\theta}_2) + a_3 a_{c4} C_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)] + I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) \quad (58-2)$$

La ecuación 58-2 se deriva respecto al tiempo:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} \right) = m_4 [a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_{c4} C_{34} (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 S_{34} (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_3 a_{c4} C_4 (\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) \quad (59-2)$$

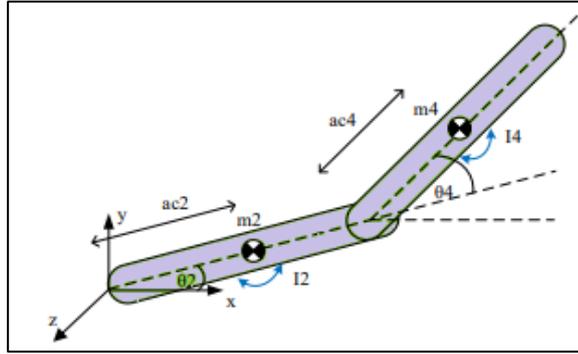
Derivada parcial respecto a  $\frac{\partial L}{\partial \theta_4}$  se tiene:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_4} = -m_4 a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) - m_4 a_3 a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) S_4 - m_4 g C_{234} \quad (60-2)$$

Se obtiene  $\tau_3$  el torque producido para la tercera ecuación de Euler-Lagrange:

$$\tau_3 = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_4}$$

$$\tau_3 = m_4 [a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_{c4} C_{34} (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 S_{34} (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + a_3 a_{c4} C_4 (\ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) - a_3 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3 + \ddot{\theta}_4) + m_4 a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) + m_4 a_3 a_{c4} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4) S_4 + m_4 g C_{234} \quad (61-2)$$



**Figura 11-2:** Eslabón con masa concentrada dedo pulgar

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

### **Energía cinética**

Para obtener la energía cinética del dedo pulgar se realizó el mismo procedimiento de los dedos anteriores, por la cual la velocidad angular queda definida por  $\omega_2 = \dot{\theta}_2$  es:

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m_2 \left[ a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 (\sin^2(\theta_2) + \cos^2(\theta_2)) \right] + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2$$

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m_2 a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 \quad (62-2)$$

$$E_{c4} = \frac{1}{2} m_4 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2 + 2a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) C_4 \right] + \frac{1}{2} I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2$$

Donde la velocidad angular depende de los dos ángulos  $\omega_4 = \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4$ .

### **Energía potencial**

La energía potencial está en función de las alturas del centro de masas de cada uno de los eslabones y reemplazándolos se tiene:

$$E_{p2} = m_2 g a_{c2} S_2 \quad (63-2)$$

$$E_{p4} = m_4 g (a_2 S_2 + a_{c4} S_{24}) \quad (64-2)$$

Primera ecuación dinámica para  $\tau_1$ , se reemplaza las energías cinética y potencia en la ecuación 6-1 se obtiene la función de Lagrange como se muestra en la ecuación

$$L = E_{c2} + E_{c4} - E_{p2} - E_{p4}$$

$$L = \frac{1}{2} m_2 a_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} m_4 \left[ a_2^2 \dot{\theta}_2^2 + a_{c4}^2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2 + 2a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) C_4 \right] + \frac{1}{2} I_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2 - m_2 g a_{c2} S_2 - m_4 g (a_2 S_2 + a_{c4} S_{24}) \quad (65-2)$$

Realizando la derivada parcial de la ecuación (65-2) con respecto a coordenada articular se obtiene  $\tau_1$ :

$$\tau_1 = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} \quad (66-2)$$

$$\tau_1 = m_2 a_{c2}^2 \ddot{\theta}_2 + I_2 \ddot{\theta}_2 + m_4 [a_2^2 \ddot{\theta}_2 + a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_{c4} C_4 (2\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) - a_2 a_{c4} \dot{\theta}_4 S_4 (2\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) + m_2 g a_{c2} C_2 + m_4 g (a_2 C_2 + a_{c4} C_{24})$$

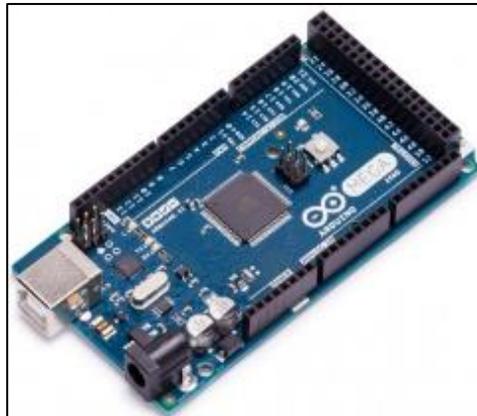
Segunda ecuación dinámica para  $\tau_2$ , se obtiene el torque producido por la ecuación de Euler-Lagrange:

$$\tau_2 = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_4} \quad (67-2)$$

$$\tau_2 = m_4 [a_{c4}^2 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) + a_2 a_{c4} C_4 (\ddot{\theta}_2) - a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 S_4 (\dot{\theta}_4)] + I_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) + m_4 a_2 a_{c4} \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) S_4 + m_4 g a_{c4} C_{24}$$

### 2.3.2.3. Selección del microprocesador Arduino

En el capítulo 1 se realizó la comparación de los distintos tipos de Tarjetas de desarrollo Arduino que existe en el mercado y se escogió el Arduino Mega 2560, la misma que tiene 54 GPIO digitales y 15 salidas PWM, además poseen una comunicación UART (Transmisor-Receptor Asincrono Universal) que se encuentran disponibles en los pines digitales Rx Y Tx. Se selecciona este dispositivo ya que posee rapidez de procesamiento de información y es compatible con plataformas informáticas, acoplándose con facilidad al microprocesador como se observa en la figura 12-2.



**Figura 12-2:** Tarjeta Arduino Mega 2560  
Fuente: (Arduino, 2018)

#### 2.3.2.4. Selección de los servomotores

Para seleccionar el servomotor como se observa en la figura 13-2 y generar el movimiento de los dedos se debe considerar los pesos de cada uno de ellos, además como las características técnicas del servomotor como se muestra en la tabla 7-2. En la ecuación 30-2 se muestra la fórmula de torques para el cálculo de cada uno de los dedos mientras que en la tabla 6-2 se muestra el resultado de las mismas (Amangandi A., 2018).

$$\tau = F * d = w * d \quad (68-2)$$



**Figura 13-2:** Servomotor Hitec HS-311  
Fuente: (Super Robotica.com, 2018)

**Tabla 6-2:** Calculo de los pesos de cada dedo

Falange	Peso (kgf)	Distancia (cm)	Torque (kgf-cm)
Pulgar	0.01521	7.6	0.115596
Índice	0.0148	8.3	0.12284
Medio	0.01812	9.2	0.166704
Anular	0.01177	8.6	0.101222
Meñique	0.00837	7	0.05859

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020  
Fuente: (Amangandi A., 2018)

En la tabla 6-2 se observa que el dedo medio posee un mayor torque por lo tanto se toma como base para seleccionar el servomotor capaz de mover todos los dedos. En la ecuación 69-2 se muestra el torque de dedo medio multiplicado con un valor constante de seguridad el cual será confiable al momento de seleccionar el dispositivo (Amangandi A., 2018).

$$\tau = 0.166704 * C_S \quad (69-2)$$

Por el movimiento que debe realizar y la distancia de ubicación de los servomotores en la mano robótica, se toma un coeficiente de seguridad de 18, el cual nos da un buen rango de seguridad (Amangandi A., 2018).

$$\tau = 0.166704 * 18$$

(70-2)

$$\tau = 3kgf - cm$$

Una vez determinado el torque se procede a buscar en las características iguales o superiores a los que se han calculado siendo este el Hitec HS-311 cuyas características técnicas se muestra en la tabla 7-2.

**Tabla 7-2:** Características Técnicas del Servomotor Hitec HS-311

<b>Sistema de control</b>	Control por anchura de pulso 1,5ms
<b>Tensión de funcionamiento</b>	4,8 V a 6 V
<b>Velocidad</b>	<b>4,8V:</b> 0,19 s/60 grados sin carga <b>6V:</b> 0,15 s/60 grados sin carga
<b>Fuerza a 6V</b>	4,1 kg x cm
<b>Corriente en reposo</b>	8 mA
<b>Corriente en funcionamiento</b>	150 mA sin carga
<b>Corriente máxima</b>	1100 mA
<b>Zona neutra</b>	8µs
<b>Rango de trabajo</b>	900 a 2100 µs
<b>Dimensiones</b>	39,9 x 19,8 x 36,3 mm
<b>Peso</b>	42,8 g
<b>Rodamiento principal</b>	Metálico
<b>Engranajes</b>	Plástico
<b>Longitud de cable</b>	300 mm

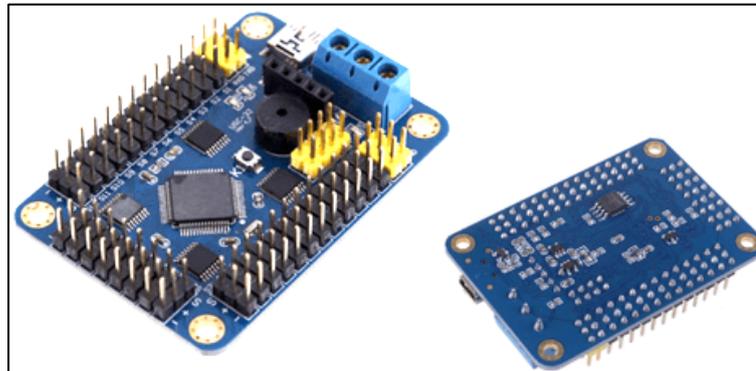
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Fuente: (Super Robotica.com, 2018)

### 2.3.2.5. Selección de drivers para servomotores

Después de una exhaustiva investigación se eligió el driver de servos USC 32 como se observa en la figura 14-2 ya que posee 32 canales que permite conectarse al procesador Arduino Mega

2560, por lo tanto, puede controlar hasta 32 servos al mismo tiempo. El USC-32 cuenta con una memoria ROM de 512K que permite almacenar comandos. El módulo facilita la conexión a través de los pines (Rx) y (Tx) al procesador Arduino Mega 2560. En la tabla 8-2 se muestra las características técnicas de la misma.



**Figura 14-2:** Módulo del driver para servomotores USC32  
Fuente: (DynamoElectronics.com)

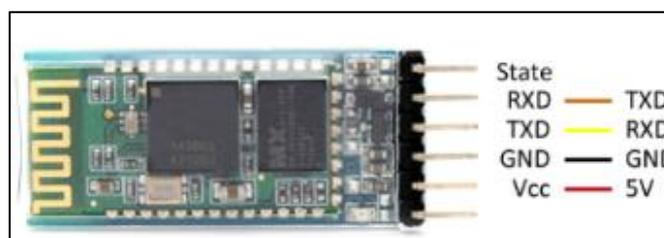
**Tabla 8-2:** Características técnicas del Driver para servomotores USC32

<b>Microcontrolador</b>	Atmel ATMEGA 168-20PU
<b>EEPROM</b>	24LC32P
<b>Velocidad</b>	14,15 MHz
<b>Secuencia interna</b>	Hexapodo de 12 servos
<b>Entrada serial</b>	RS-232 o TTL, 2400, 9600, 38.4k, 115.2k, N81
<b>Salidas</b>	32
<b>Entradas</b>	4
<b>Requerimiento de Corriente</b>	31mA

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020  
Fuente: (DynamoElectronics.com)

#### 2.3.2.6. Selección del módulo de Bluetooth

Es un protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión, por lo tanto, se escoge el módulo de bluetooth HC-06 ya que su conexión es sencilla y de bajo costo. En la figura 15-2 se observa el módulo.



**Figura 15-2:** Módulo de Bluetooth HC-06  
Fuente: (NaylampMechatronics.com)

Para comunicar al Arduino a través de Bluetooth se debe conectar el pin Tx del módulo al puerto Rx del Arduino y así sucesivamente. Este módulo permite conectar al Arduino con otros sistemas (teléfono inteligente, computadora u otros microcontroladores) para enviar y recibir datos, esta comunicación permite controlar el brazo robótico a través de una aplicación móvil. En la tabla 9-2 se muestra las características técnicas de este módulo.

**Tabla 9-2:** Características técnicas del módulo de Bluetooth HC-06

<b>Canal de comunicación</b>	720Kbits
<b>Voltaje</b>	3,3 V a 6 V
<b>Rango optimo</b>	10 m
<b>Frecuencia de radio</b>	2,4 a 2,48 GHz
<b>Transmisión</b>	Full Duplex con un máximo de 1600 saltos por segundo

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020  
Fuente: (NaylampMechatronics.com)

### 2.3.2.7. Selección de la fuente de alimentación

Al momento de seleccionar la fuente de alimentación se toma en cuenta el valor máximo y mínimo de voltaje de consumo de cada uno de los elementos a usarse en el proyecto ya que estos dispositivos trabajan de manera óptima a 5V como también se toma en cuenta el consumo de corriente en especial los servomotores ya que consumirán gran parte de la corriente suministrada, por lo tanto se suma las corrientes de los 20 servomotores que se utilizan dando como resultado 7,75 A y este valor se multiplica por un valor constante de seguridad siendo 9,68 A el cual ayudara a dimensionar la fuente de alimentación si en caso de que sea necesario añadir más elementos (Amangandi A., 2018). Con estos datos se selecciona la fuente de alimentación marca Mean Well LRS-50-5 de 5 V y 10 A como se observa en la figura 16-2 y las características técnicas de muestra en la tabla 10-2.



**Figura 16-2:** Fuente de Alimentación

Fuente: (Amangandi A., 2018)

**Tabla 10-2:** Características técnicas de la fuente de alimentación

<b>Voltaje DC</b>	5 V
<b>Corriente</b>	10 A
<b>Rango de corriente</b>	0 – 10 A
<b>Potencia</b>	50 W
<b>Ruido</b>	80 m Vp-p
<b>Tolerancia de voltaje</b>	±2,0%
<b>Regulación de línea</b>	±0,5%
<b>Regulación de carga</b>	±1,0%

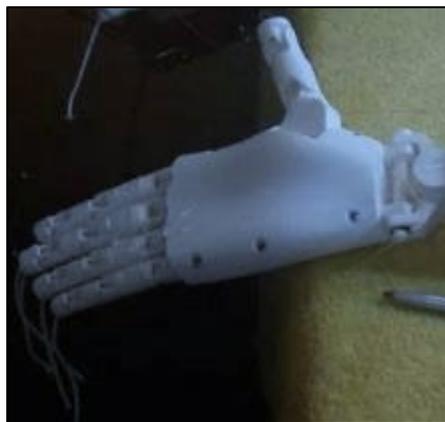
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Fuente: (Amangandi A., 2018)

### 2.3.3. *Etapa de Ensamblaje*

Una vez finalizada la impresión de las piezas del robot y seleccionado los dispositivos que integran el prototipo se procede a su ensamblaje. A continuación, se enumera los pasos realizados.

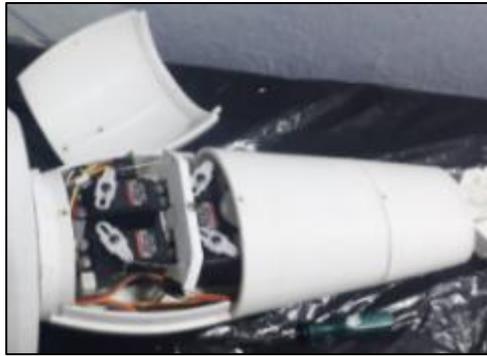
1. Se ensambla la mano juntamente con los dedos donde sus eslabones deben ir unidos a través de articulaciones cilíndricas para realizar el movimiento de cada uno de los dedos para realizar y generar el alfabeto, número y colores en lenguaje de señas. También se colocarán hilos de nylon en la mano que tendrán la función de tendón para poder flexionarlos. En la figura 17-2 se observa el ensamble de la mano.



**Figura 17-2:** Ensamble de la mano y sus articulaciones

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

2. Se ensambla el antebrazo donde también se ubican los servomotores ya que ellos son los encargados de realizar el movimiento de la mano y sus dedos. En la figura 18-2 se observa el ensamblado del antebrazo con los servomotores.



**Figura 18-2:** Ensamblado del antebrazo  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

3. Se acopla la mano ya ensamblada a la muñeca a través de pasadores como se observa en la figura 19-2 que posteriormente realizarán los movimientos de flexión, extensión, desviación radial y lunar.



**Figura 19-2:** Acople de la mano con el antebrazo  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

4. Una vez acoplada la mano con el antebrazo se procedió a colocar el hilo de nylon en cada polea de los servomotores como se observa en la figura 20-2 ya que el templado de los tendones se realiza desde los servomotores hacia los dedos, donde deben estar extendidos en su totalidad, para evitar que se crucen en todo momento y así tener un correcto funcionamiento.



**Figura 20-2:** Templado del hilo Nylon  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

5. En la figura 21-2 se observa la ubicación de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560, el módulo de Bluetooth, el driver USC 32 y el cableado para los mismos el cual se encuentra en el interior del soporte del brazo robótico.



**Figura 21-2:** Colocación de la tarjeta Arduino y sus componentes  
**Realizado por:** Tuapanta Richard, 2020

6. En la figura 22-2 se observa el ensamblaje final del brazo robótico con su respectivo soporte en el cual se incluye la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 donde se realiza las respectivas conexiones con el driver de servos, los servomotores y el modelo de bluetooth.

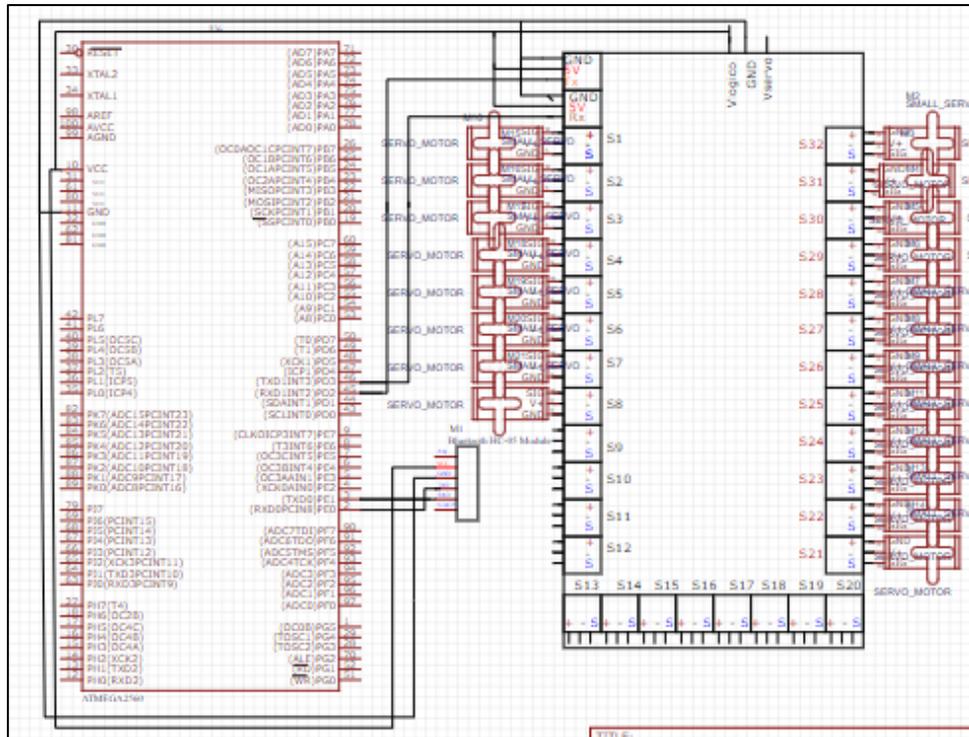


**Figura 22-2:** Ensamble final  
**Realizado por:** Tuapanta Richard, 2020

#### **2.4. Diagrama de conexiones**

Las manos robóticas serán controladas mediante una aplicación móvil el cual en este caso se encontrará en un teléfono celular donde este enviara la señal de forma inalámbrica al módulo del bluetooth que se encontrara conectada en los puertos digitales Tx y Rx del Arduino para gestionar la comunicación a los servomotores mediante el controlador USC-32 y de este modo los actuadores eléctricos (servomotores) empezaran a girar y así generar el movimiento de las manos y dedos para formar una letra en lenguaje de señas. La aplicación se realizará mediante el *software* Android Studio. El controlador USC-32 tiene pines numerados desde el S1 hasta el S32 en donde se puede llegar a conectar hasta 32 servomotores, pero en este caso solamente se utilizarán 20. Al Arduino se alimenta con el canal del puerto serial y el cual estar conectada a la

fuelle de alimentaci3n de marca Mean Well LRS-50-5 de 5 V y 10 A. En la figura 23-2 se observa la conexi3n esquemática de los dispositivos a utilizarse en el sistema de control para el funcionamiento del proyecto.



**Figura 23-2:** Diagrama de conexiones  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Los canales del controlador tienen pines de se1al y alimentaci3n de los servomotores. Por lo tanto, para la alimentaci3n se opt3 en utilizar una fuente de alimentaci3n externa de (5V/10A) que est3n conectados directamente a los servomotores que es un voltaje apropiado para mover los servos de las manos rob3ticas.

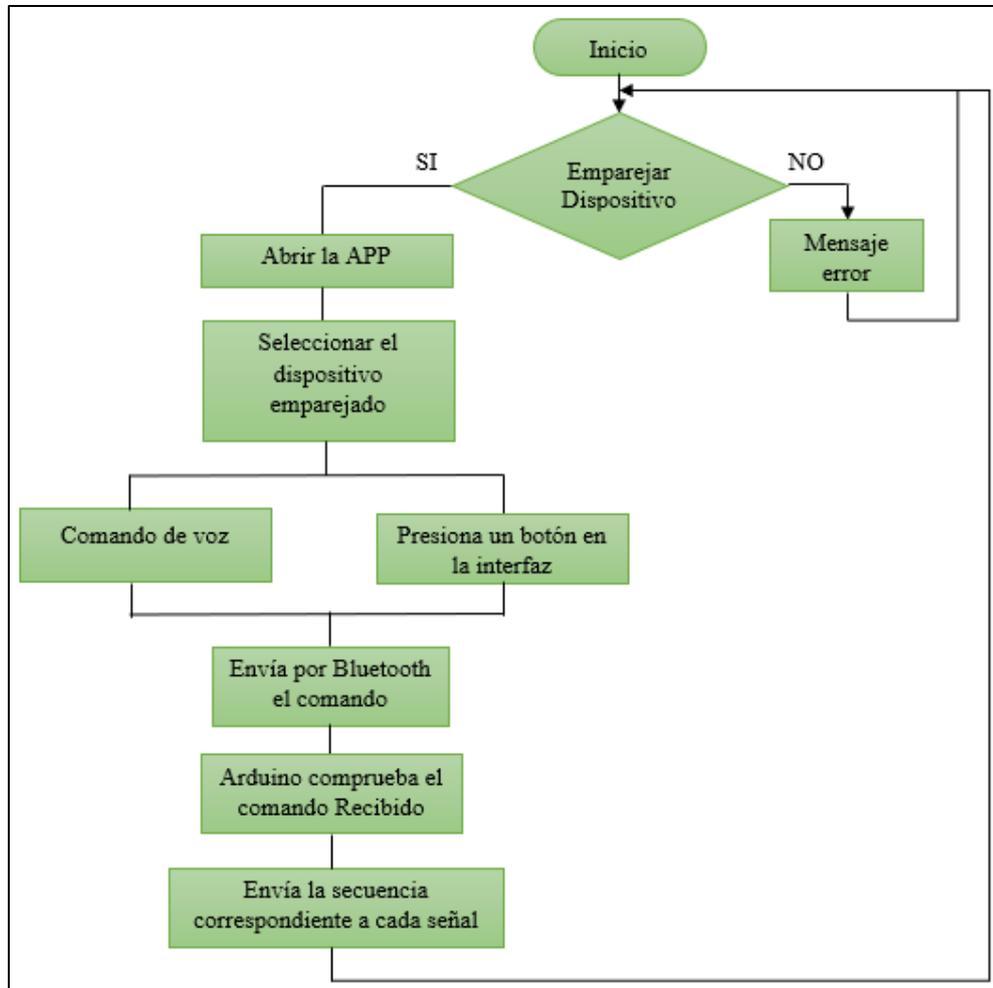
## 2.5. Requerimiento de software

Este apartado tambi3n es uno de los puntos m3s importantes para el funcionamiento del brazo rob3tico ya que todo el sistema depende de la programaci3n. Adem3s de otros puntos las cuales son:

- Sistema operativo y librerías gratuitas
- Compatibilidad de las librerías con el sistema operativo
- Realizar algoritmos para el movimiento de manos y dedos del brazo rob3tico.
- Enviar se1al inalámbrica para que el brazo rob3tico comience a realizar el movimiento de las manos y dedos.

### 2.5.1. Algoritmo de control del brazo (aplicación móvil)

En la figura 24-2 se muestra el diagrama de flujo de forma gráfica explicando el funcionamiento mediante el algoritmo de control de las manos robóticas.



**Figura 24-2:** Diagrama de flujo del algoritmo de control  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

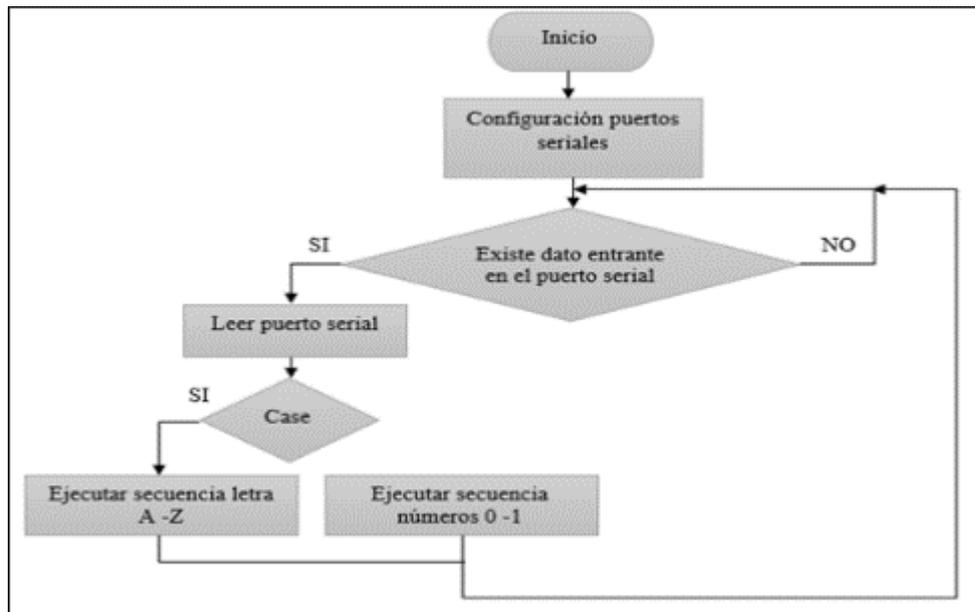
La APP se realiza en el programa Android Studio que sea amigable, interactivo y de fácil uso para el usuario. A continuación, se describe los bloques de la programación:

- Se realiza el emparejamiento del Smartphone con el dispositivo mediante el módulo de Bluetooth.
- Si el dispositivo se empajara el usuario procede a abrir la aplicación, caso contrario emitirá un mensaje de error.
- Selecciona el dispositivo Bluetooth previamente emparejado.
- Realizar el comando seleccionado por el usuario (Comando de voz, presiona un botón en la interfaz).
- El Smartphone envía la señal mediante Bluetooth el comando correspondiente.

- El microprocesador Arduino (Mega 2560) comprueba la señal recibida y procede a enviar la secuencia correspondiente a la señal recibida.
- Después de 3 segundos las manos y los dedos regresan a su posición inicial, quedando listos para otra petición de señal que envía la APP del Smartphone.

### 2.5.2. Programación en el software Arduino

En el microprocesador Arduino se implementa un programa complementario el mismo que se detalla en la figura 25-2.



**Figura 25-2:** Diagrama de flujo programación Arduino  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

- Se configura el puerto de comunicación (9600 baudios).
- Busca si existe algún dato en el buffer de comunicación, en el caso de ser afirmativo, se lee este dato y se identifica a que letra, numero o color corresponde.
- Se ejecuta la secuencia de cada señal, posicionando cada servo dependiendo del caso. Este algoritmo se ejecutará continuamente mientras se encuentre conectado el Arduino a al computador (el Arduino se comporta como un dispositivo esclavo).

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan las pruebas realizadas al dispositivo, con el fin de validar el proyecto a través de experimentos como el movimiento de las manos y los dedos generando las señas del alfabeto (A-Z), números (0-9) y los colores a través de la aplicación móvil. En la figura 1-3 se observa el ensamblado final del brazo robótico.



**Figura 1-3:** Brazo robótico final  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Además, se calcula la efectividad de cada movimiento con la fórmula de la efectividad que viene dada por la ecuación 1-3.

$$\% \text{ Efectividad} = \frac{\text{Aciertos}}{\# \text{ Pruebas}} * 100 \quad (1-3)$$

#### 3.1. Pruebas de alimentación

Para iniciar con las pruebas respectivas se procedió a verificar la cantidad de voltaje que proporciona la fuente de alimentación, donde las mediciones variaron 4.9V a 5V, el cual es aceptable ya que el sistema llegara a funcionar correctamente con una alimentación de 5V.

#### 3.2. Pruebas de movimiento generando el alfabeto en lenguaje de señas

Para la realización de esta prueba se realiza 5 movimientos de cada letra del alfabeto como se detalla en la tabla 1-3. Para validar este sistema se compara con un dispositivo patrón de diseño e

implementación de manos robóticas para la generación de movimientos del alfabeto dactilológico, donde se determina que tiene un porcentaje de error del 12% (Amangandi A., 2018).

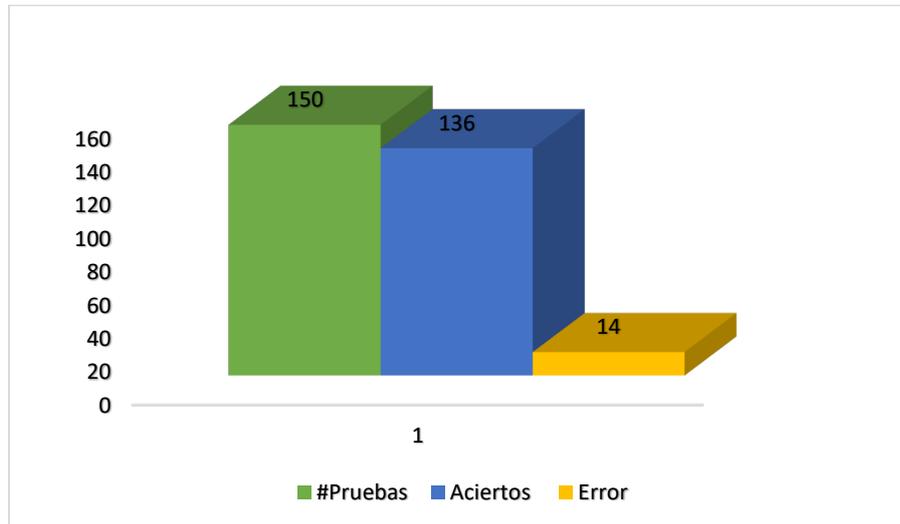
**Tabla 1-3:** Pruebas del movimiento del alfabeto en lenguaje de señas

Movimientos	# Pruebas	Aciertos	Error	% Efectividad
Letra A	5	5	0	100
Letra B	5	5	0	100
Letra C	5	5	0	100
Letra CH	5	5	0	100
Letra D	5	3	2	60
Letra E	5	5	0	100
Letra F	5	5	0	100
Letra G	5	4	1	80
Letra H	5	3	2	60
Letra I	5	5	0	100
Letra J	5	5	0	80
Letra K	5	5	0	100
Letra L	5	5	0	100
Letra LL	5	4	1	80
Letra M	5	4	1	80
Letra N	5	4	1	80
Letra Ñ	5	4	1	80
Letra O	5	4	1	80
Letra P	5	4	1	80
Letra Q	5	4	1	80
Letra R	5	5	0	100
Letra RR	5	4	1	80
Letra S	5	4	1	80
Letra T	5	5	0	100
Letra U	5	5	0	100
Letra V	5	5	0	100
Letra W	5	5	0	100
Letra X	5	5	0	100
Letra Y	5	5	0	100
Letra Z	5	5	0	100
<b>Efectividad en el Alfabeto</b>				<b>90%</b>

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

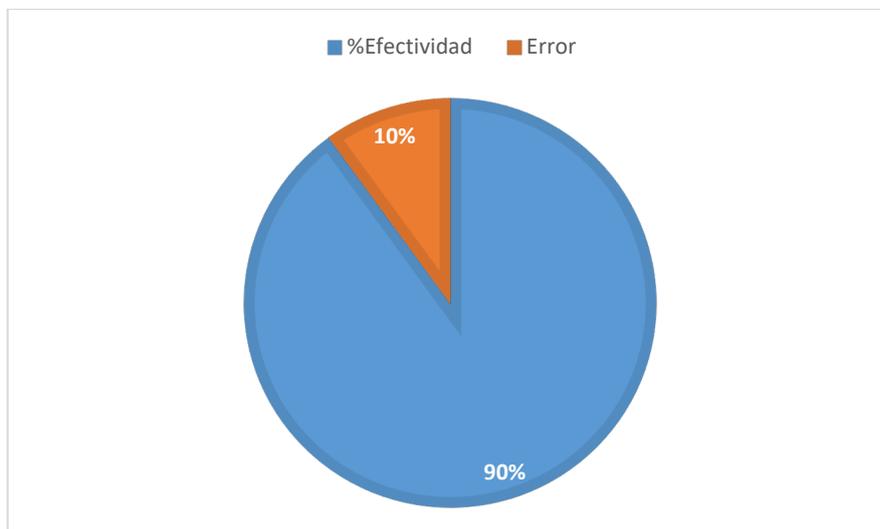
Los resultados de la tabla 1-3 muestran que existe una efectividad promedio para la generación del alfabeto dactilográfico del 90% con un error de 10%, por lo tanto, en comparación con el sistema patrón se determina que es efectivo, los resultados se muestran en el grafico 1-3. Además, existieron limitaciones en algunas letras al momento de generar el movimiento como son:

- Letra G y H: las manos del robot no pueden replicar esta seña debido a que el servomotor solamente tiene un ángulo de giro de 180°.
- Letra M, N y Ñ: Las manos robóticas no pueden replicar esta seña debido a que al momento de genera el movimiento este altera el templado del hilo que sujeta las articulaciones con los servomotores, por lo tanto, a estas letras se restringe el grado de inclinación.



**Gráfico 1-3:** Resultados del movimiento de las manos con respecto al alfabeto  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

En el grafico 2-3 se muestra la efectividad del robot didáctico para la enseñanza en lenguaje de señas a niños con discapacidad auditiva.



**Gráfico 2-3:** Efectividad del movimiento de las manos con respecto al alfabeto  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

### 3.3. Pruebas de la mano generando los números en lenguaje de señas

Para la realización de esta prueba se realiza 5 movimientos de cada número de 0 al 9, como se detalla en la tabla 2-3. Para validar este sistema se compara con un dispositivo patrón de la

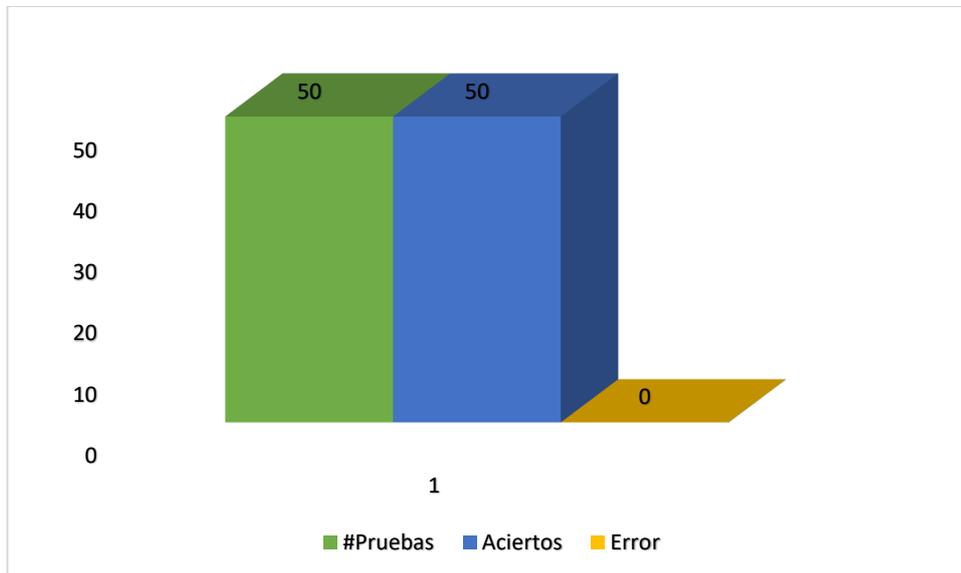
investigación Mano robótica controlada por sistema Arduino (Carmo Trolle, 2016), se determinó que existe un error 2%.

**Tabla 2-3:** Pruebas del movimiento de los números en lenguaje de señas

Movimientos	# Pruebas	Aciertos	Error	% Efectividad
Numero 0	5	5	0	100
Numero 1	5	5	0	100
Numero 2	5	5	0	100
Numero 3	5	5	0	100
Numero 4	5	5	0	100
Numero 5	5	5	0	100
Numero 6	5	5	0	100
Numero 7	5	5	0	100
Numero 8	5	5	0	100
Numero 9	5	5	0	100
<b>Efectividad en Números</b>				<b>100%</b>

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

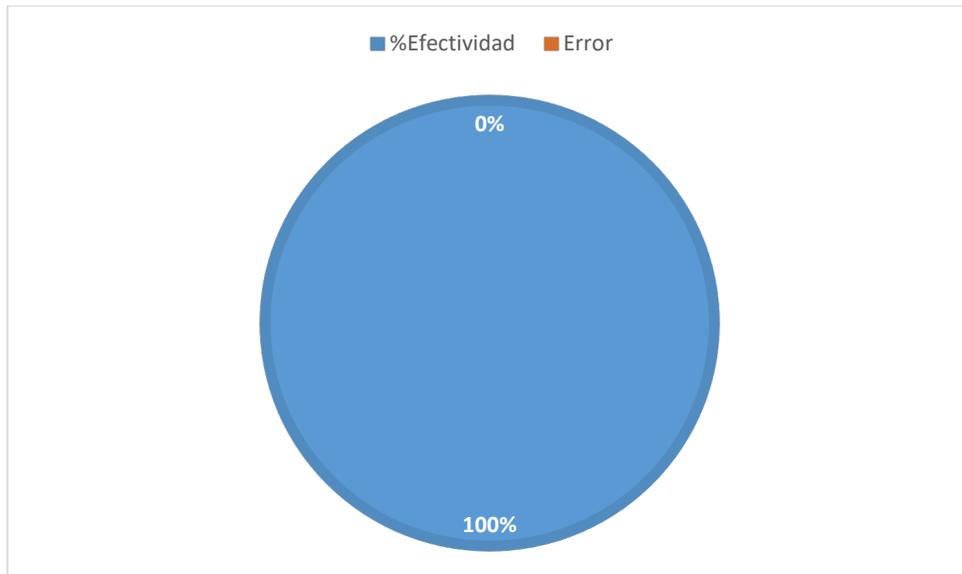
Los resultados de la tabla 2-3 muestran que existe una efectividad promedio del 100% al momento de generar los movimientos lo que demuestra que el brazo robótico puede replicar correctamente los números ya que en este caso no existe ningún tipo de limitación, además en comparación con el dispositivo patrón se verifico que es efectivo y sus resultados se muestra en el grafico 3-3.



**Gráfico 3-3:** Resultados del movimiento de las manos con respecto a los números

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

El grafico 4-3 muestra la efectividad del robot didáctico para la enseñanza en lenguaje de señas a niños con discapacidad auditiva generando los números del 0 al 9.



**Gráfico 4-3:** Efectividad del movimiento de las manos con respecto los números  
Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Tiempo de respuesta al momento de generar la secuencia de movimientos

1. Determinar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ).

$H_0$ : Tiempo demorado al momento de realizar la secuencia de las señas es igual al 90% con respecto tiempo óptimo (movimiento generado por el humano) esperado ( $H_0: X_1 = X_2$ ).

$H_1$ : Tiempo demorado al momento de realizar la secuencia de las señas es diferente al 90% con respecto al tiempo óptimo (movimiento generado por el humano) esperado ( $H_1: X_1 >< X_2$ ).

2. Análisis de datos:

Las muestras no son mayores a 30.

Son datos cuantitativos.

Se desconoce la desviación estándar de la población.

Los datos son normales, se verifica con la prueba de normalidad en shapiro wilk, como se muestra en la tabla 5-3.

**Tabla 3-3:** Prueba de normalidad en Shapiro Wilk

Variable: Tiempo optimo al momento de generar las señas	
<b>n = 5</b>	
Mean = 6.506000000000001	
SD = 0,8375440290000000	
W = 0.9639184355614555	
Threshold (p=0.01) = 0.6859999895095825 --> <b>HO accepted</b>	
Threshold (p=0.05) = 0.7620000243186951 --> <b>HO accepted</b>	
Threshold (p=0.10) = 0.8059999942779541 --> <b>HO accepted</b>	

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

**Conclusión:** la evidencia estadística muestra que no hay razón que indique que los datos no son normales.

3. Se establece el nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ) y el nivel de confiabilidad del estudio es el 95%.
4. Se aplica la prueba estadística t de Student para una muestra por la naturaleza del estudio y las características de los datos, considerando que el tiempo demorado es igual al 90% con respecto al tiempo óptimo (100%). En la **Tabla 6-3** y en la **Tabla 7-3** se muestra los resultados al realizar la prueba estadística.

**Tabla 4-3:** T-Test: One Sample en la mañana

SUMMARY				Alpha = 0,05			
Count	Mean	Std Dev	Std Err	T	df	Cohen d	Effect r
5	6.506000000 0	0,8375440290 0	2,32385585	1,07838014	4	0,48226626	0,47459687

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

**Tabla 5-3:** T-Test análisis estadístico en la mañana

T TEST		Hyp Mean = 90			
	p-value	t-crit	lower	Upper	Sig
One Tail	0,17077716	2,13184679			No
Two Tail	0,34155432	2,77644511	86,0539418	98,9580582	No

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

Conclusión:

t-calculado <t-crítico y pvalue>nivel de significancia (0,05).

El análisis estadístico arrojado que t-calculado < t-critico, esta evidencia muestra que se debe aceptar la hipótesis nula (Ho). En base a esta evidencia, con un nivel de confiabilidad del 95% se puede concluir que el tiempo que se demora el brazo robótico en generar las señas es igual al 90% con respecto al tiempo óptimo (movimiento humani) esperado (100%).

## CAPÍTULO IV

### 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se detalla de manera puntual el precio y los recursos utilizados para la conducción de nuestro prototipo de robot.

#### 4.1. Análisis de costo

En la tabla 1-4 se determina el valor unitario de todos los elementos o insumos (materia prima), para determinar el costo general de producción que nos ayudara a decidir si el nivel de producción es óptimo o no.

**Tabla 1-4:** Costo del prototipo

Cantidad	Detalle	Imagen	Valor Unitario	Total
1	Impresión del prototipo de robot con tecnología 3D, incluye material y tiempo de impresión		\$ 400.00	\$400.00
14	Servomotor HITEC HS-311		\$15.00	\$210.00
2	Servomotor HITEC HS-805BB		\$80,00	\$160.00
4	Servomotor TowerPro-SG90		\$5.00	\$5.00
1	Arduino Mega 2560		\$20.00	\$20.00
2	Rodamientos		\$3.00	\$6.00
1	Driver UCS-32		\$50.00	50.00
1	Fuente de alimentación 5V/10A		\$20.00	\$20.00
1	Modulo Bluetooth HC-06		\$7.00	\$7.00
1	Baquelita		\$2.50	\$2.50
	Materiales de montaje y conexión		\$80.00	\$80.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 960.50</b>

Realizado por: Tuapanta Richard, 2020

## CONCLUSIONES

Con la implementación de este robot didáctico se busca facilitar el método de enseñanza en lenguaje de señas ya que según la CONADIS el 5.91% de la población infantil tiene discapacidad auditiva, y según fuente bibliográfica este tipo de robots facilitan la metodología de enseñanza hacia niños de educación inicial ya que a un niño en sus primeros años de enseñanza la metodología óptima de enseñanza es la visual (todo lo que ve lo repite), y nuestro robot al tener un algoritmo de replicación de señas puede ser repetido cuantas veces sea necesario.

Se utilizó las extremidades superiores (antebrazos) del robot Inmoov las cuales están disponibles de manera gratuita en la plataforma Thingiverse, el cual se compone de 22 piezas cada una respectivamente. Para la movilidad de la mano se utiliza 10 servomotores ubicados en el interior de los mismos y el movimiento será realizado por poleas e hilos de nylon para flexionar o extender los dedos.

El robot fue construido con material PLA por ser un polímero biodegradable creado a partir de recursos renovables, no emite gases nocivos, el filamento facilita la impresión de las piezas a baja temperatura y de buena calidad.

De las pruebas realizadas se comprobó que la fuente de alimentación trabaja de manera óptima a los 5V pero también puede ser aceptable siempre y cuando no disminuya de las 4.5 V ya que si la fuente no proporciona el voltaje adecuado no se podrá generar los movimientos de cada letra y número.

El algoritmo se realiza en el *software* Android Studio para enviar una señal inalámbrica al módulo Bluetooth que se encuentra en el interior del soporte y este informara al Arduino que secuencias debe generar para formar palabras, letras y números en lenguaje de señas.

De las pruebas realizadas se determinó que existen limitaciones como es el ángulo de giro del servomotor y las tensiones de los hilos de nylon por lo tanto no se replicó exactamente algunas letras a como lo realiza un ser humano.

De las pruebas se determinó una efectividad en la realización de movimiento de las manos al momento de generar las letras del alfabeto de 90%, los números de 100% y de los colores un 76,67% evidenciándose un porcentaje promedio de error menor del 14% ocasionado por el destiempo de los hilos de nylon y la falta de un rostro para gestualizar varias señas.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar mayor número de pruebas al robot didáctico en un salón de clases con la finalidad de medir su utilidad y así encontrar mejoras en su diseño.

Mejorar la tecnología en esta investigación incluyendo más sensores o actuadores para que al momento de replicar las letras en lenguaje de señas no exista ningún tipo de limitaciones al momento de su funcionamiento.

Mejorar la implementación de este prototipo incluyendo el dorso e incluso el rostro para que este sea más atractivo para los niños a quien va dirigido este tema de investigación y así mejorar la enseñanza del lenguaje de señas imitando frases o expresiones.

Investigar acerca de la factibilidad de realizar un sistema de rastreo de movimiento de las manos de las personas con discapacidad auditiva y traducirlas para que se uso sea como mediador entre personas que no sepan del lenguaje de señas.

Realizar un estudio para que el robot entienda y aprenda las palabras y los replique en lenguaje de señas mediante inteligencia artificial.

Realizar un algoritmo eficaz que permita generar palabras de manera rápida sin tener que regresar a su posición inicial y así evitar ocupar mucho tiempo en la realización del lenguaje de señas.

Incorporar una fuente de alimentación portátil para que el robot pueda tener cierta autonomía y este sea utilizado en lugares abiertos y su uso sea de ayuda a la sociedad.

## GLOSARIO

<b>Android Studio</b>	Es un software que posee un entorno de desarrollo el cual cuenta con herramientas y servicios para que los desarrolladores creen nuevas aplicaciones.
<b>Aplicación</b>	Es un tipo de software de computadora diseñado para realizar un grupo de funciones, tareas o actividades.
<b>Arduino</b>	En una placa electrónica de hardware y software libre, flexible y de fácil uso, además este es un microcontrolador reprogramable.
<b>Cinemática</b>	Estudia los movimientos de un robot como la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos.
<b>Corriente</b>	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material.
<b>Dactilología</b>	Representación manual de las letras del alfabeto por diversas posiciones de los dedos de la mano.
<b>Dinámica</b>	Permite conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas asociadas implicadas en el mismo
<b>Discapacidad</b>	Interacción entre las personas con deficiencias auditivas.
<b>Dispositivo</b>	Es un aparato o mecanismo que desarrolla determinadas acciones.
<b>Grados de libertad</b>	Tiene la capacidad de moverse en un espacio tridimensional
<b>Hardware</b>	Son las partes físicas, tangibles de un sistema, donde posee componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.
<b>Impresora 3D</b>	Es capaz de construir un objeto en tres dimensiones (x, y, z) partiendo de un modelo digital.
<b>Leguaje de señas</b>	En un medio de comunicación visual y gestual para las personas con discapacidad auditiva.
<b>Microcontrolador</b>	Es un circuito integrado programable de muy alta escala de integración, capaz de ejecutar órdenes grabadas en su memoria.
<b>Robot</b>	Entidad virtual que posee la capacidad de interpretar su entorno y adecuar sus acciones.
<b>Software</b>	Es la parte lógica, intangible de un sistema, que comprende el conjunto de componentes lógicos.
<b>Voltaje</b>	Magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado.

## BIBLIOGRAFÍA

**3D NATIVES.** *Softwares de impresion 3D.* [En línea] [Citado el: 10 de Marzo de 2019.] <https://www.3dnatives.com/es/guia-programas-softwares-de-impresion-3d/#!>

**ALBESA L., Rebeca.** *Robótica educativa: “Nao”, el nuevo amigo de las personas con autismo.* [En línea] 2 de Agosto de 2018. <http://webs.ucm.es/BUCM/revcul//e-learning-innova/127/art1828.pdf>.

**ALONSO, M.** *Metodo de lectoescritura.* [En línea] Facultad de Educación Elemental y Especial, Mendoza., 2006. [https://www.neuquen.edu.ar/wp-content/uploads/2019/03/Metodos-lectura\\_escritura.pdf](https://www.neuquen.edu.ar/wp-content/uploads/2019/03/Metodos-lectura_escritura.pdf).

**AMANGANDI A., Jorge.** *Diseño e implementación de manos robóticas para la generación de movimientos del alfabeto dactilológico.* [En línea] (Tesis) (Maestría) Escuela Superior Politecnica e Chimborazo. Mayo de 2018. [Citado el: 20 de Enero de 2019.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9289/1/20T01117.pdf>.

**ANDREW KEISNER, C.** *Tecnologías revolucionarias: robótica y P.I. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.* [En línea] 1 de Mayo de 2018. [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2016/06/article\\_0002.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2016/06/article_0002.html).

**Arduino.** *Que es Arduino.* [En línea] 2018. [Citado el: 27 de Julio de 2018.] <https://www.arduino.cc/en/software..>

**Arduino.org.** *Software Arduino.* [En línea] 2016. [Citado el: 27 de Julio de 2018.] <https://www.arduino.cc/en/software>.

**ASOCIDE.** *Alfabeto Dactilológico.* [En línea] 15 de Abril de 2019. <http://www.asocide.org/solotexto/alfabeto.htm>.

**BONELL Marc.** *Diseño y Construcción de un Robot Humanoide.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería). 15 de Junio de 2011. [Citado el: 20 de Junio de 2018.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12840/Mem%C3%B2ria%20t%C3%A8cnica.pdf>.

**CARDOSO, Eileen; et al.** *Modelos cinemático y dinámico de un robot de cuatro grados de libertad.* 2017. Vol. 38. ISSN 1815-5928.

**CARMO TROLLE, René Ove Do.** MANO ROBÓTICA CONTROLADA POR SISTEMAS ARDUINO. [En línea] (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politecnica de Cartagena. Octubre de 2016. [Citado el: 20 de Enero de 2019.] <https://docplayer.es/85736095-Universidad-politecnica-de-cartagena-mano-robotica-controlada-por-sistema-arduino.html>

**CASTILLERO M., Oscar.** *Tipos de Discapacidades*. [En línea]. Psicología y Mente, 5 de Mayo de 2019. <https://psicologiymente.com/salud/tipos-de-discapacidad>.

*Centro de Formacion Tecnica para la Insdustria*. [En línea] 2015. [Citado el: 17 de Agosto de 2018.] <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-servomotor/#:~:text=C%C3%B3mo%20funciona%20un%20servomotor,y%20una%20frecuencia%20de%20repetici%C3%B3n..>

**CONADIS.** *Estadistica de Discapacidades*. [En línea] 10 de Abril de 2019. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>.

**DynamoElectronics.com.** *SSC-32 Tarjeta control 32 servos serial*. [En línea] [Citado el: 6 de Diciembre de 2019.] <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/ssc-32-tarjeta-control-32-servos-serial/>.

**FERREÑO, Esteban.** *Android Studio*. [En línea] Enero de 2019. [Citado el: 7 de Mayo de 2019.] <https://elandroidlibre.elespanol.com/2020/01/android-studio-que-es-y-para-que-se-utiliza.html>.

**FUNDEMAS.** *Tipos de Discapacidad*. [En línea] 10 de Mayo de 2019. <https://fundemas.org/tipos-de-discapacidad>.

**Futuro Electrico.** *Robot Humanoide*. [En línea] 25 de junio de 2018. <https://futuroelectrico.com/robot-humanoide/>.

**HERNANDEZ ORDOÑEZ, M.; et al.** *Robótica Análisis, modelado, control e implementación*. Victoria, Tamaulipas, México : OmniaScience., 2015.

**Il Bambino.** *Introduccion a los robots moviles*. [En línea] 2008. [Citado el: 7 de Junio de 2018.] [https://www.aadeca.org/pdf/CP\\_monografias/monografia\\_robot\\_movil.pdf](https://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf).

**LOPEZ C., Jose E.** *Impresoras 3D*. [En línea] 11 de Marzo de 2016. [Citado el: 1 de Enero de 2019.] [https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf).

**MecatronicaLATAM.** *Tipos de Robots*. [En línea] 20 de Mayo de 2018. <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/tipos-de-robots/>.

**MINISTERIO DE EDUCACION.** *Normas Constitucionales.* [En línea] 11 de Abril de 2019. [https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/TRANSP-NORMAS\\_CONSTITUCIONALES.pdf#:~:text=para%20sus%20habitantes.-,Art.,ineludible%20e%20inexcusable%20del%20Estado.&text=Las%20personas%2C%20las%20familias%20y,participar%20en%20el%20proceso.](https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/TRANSP-NORMAS_CONSTITUCIONALES.pdf#:~:text=para%20sus%20habitantes.-,Art.,ineludible%20e%20inexcusable%20del%20Estado.&text=Las%20personas%2C%20las%20familias%20y,participar%20en%20el%20proceso.)

**MINISTERIO DE TRABAJO.** *Clasificacion de las personas con discapacidad.* [En línea] 15 de Mayo de 2019. [https://www.mintrabajo.gob.gt/images/Servicios/DEL/Informe\\_del\\_Empleador/Clasificaci%C3%B3n-CIF-Tipos-de-Discapacidad\\_CIF.pdf](https://www.mintrabajo.gob.gt/images/Servicios/DEL/Informe_del_Empleador/Clasificaci%C3%B3n-CIF-Tipos-de-Discapacidad_CIF.pdf).

**MINSALUD.** *Discapacidad.* [En línea] 1 de Mayo de 2019. <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/promocion-social/Discapacidad/Paginas/discapacidad.aspx>.

**MINSTERIO DE SALUD PUBLICA.** *Discapacidades.* [En línea] 10 de Abril de 2019. <https://www.salud.gob.ec/direccion-nacional-de-discapacidades/#:~:text=se%20considera%20persona%20con%20discapacidad,ejercer%20una%20o%20m%C3%A1s%20actividades.>

**NaylampMechatronics.com.** *Tutorial Básico de Uso del Módulo Bluetooth HC-06 y HC-05.* [En línea] [Citado el: 18 de Agosto de 2019.] [https://www.naylampmechatronics.com/blog/12\\_Tutorial-B%C3%A1sico-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-Bluetooth-H.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/12_Tutorial-B%C3%A1sico-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-Bluetooth-H.html).

**OLLERO B., A.** *Robótica Manipuladores y robots móviles.* s.l., España : S.A.MARCOMBO, 2001.

**Organizacion Mundial de la Salud (OMS).** *Discapacidad.* [En línea] 15 de Mayo de 2019. <https://www.who.int/features/factfiles/disability/es/#:~:text=Dato%201%3A%20m%C3%A1s%20de%201000,tienen%20grandes%20dificultades%20para%20funcionar..>

**RAMIREZ B., Kryscia D.** *Dinamica del Robot.* [En línea] Mayo de 2017. <http://www.kramirez.net/Robotica/Material/Presentaciones/DinamicaRobot.pdf>.

**REYES CORTEZ, F.** *Robótica - control de robots manipuladores.* [En línea] 2011. [Citado el: 10 de abril de 2018.] <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=cULVDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=róbótica+&ots=LQ5Cnmz2c2&sig=Ic.>

**RobotLab.** *Book WEBO Spanish.* [En línea] 20 de Agosto de 2018. <http://roboticgoeseurope.weebly.com/uploads/3/0/4/4/30444616/book-wedo-spanish.pdf>.

**SANCHEZ R., Jose L. & JUAREZ L., Cristina.** Modelo de Robótica Educativa con el Robot Darwin Mini para Desarrollar Competencias en Estudiantes de Licenciatura. [En línea] (Tesis) (Ingeniería). Diciembre de 2017. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ride/v8n15/2007-7467-ride-8-15-00877.pdf>.

**Sitio Web Inteligencia Artificial.** *Grados de libertad.* [En línea] 18 de Mayo de 2017. [https://freedomforlife.wordpress.com/grados-de-libertad/#:~:text=Los%20brazos%20de%20un%20Robot,de%20seis%20grados%20de%20libertad\).&text=Los%20robots%20humanoides%20suelen%20tener,el%20torso%20y%20el%20cuello..](https://freedomforlife.wordpress.com/grados-de-libertad/#:~:text=Los%20brazos%20de%20un%20Robot,de%20seis%20grados%20de%20libertad).&text=Los%20robots%20humanoides%20suelen%20tener,el%20torso%20y%20el%20cuello..)

**Super Robotica.com.** *Características técnicas del servomotor.* [En línea] 1 de Mayo de 2018. [Citado el: 3 de Septiembre de 2019.] <http://www.superrobotica.com/s330165.htm>.

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE VALENCIA.** El aprendizaje en los niños con discapacidad auditiva. 21 de Marzo de 2018.

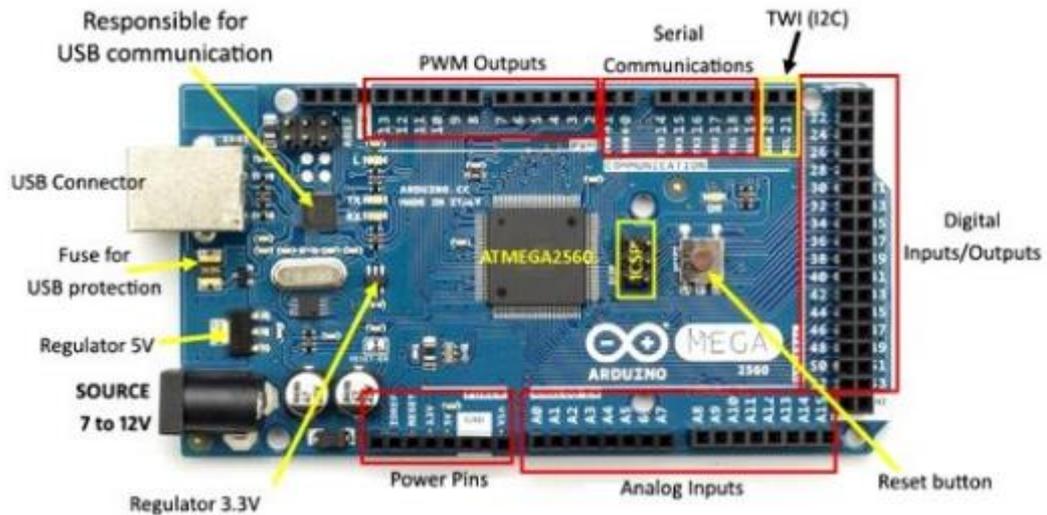
**VASQUEZ, Carla, CASTRO, Monserrat & RODRIGUEZ, Jesus.** Una taxonomía de materiales didácticos para la inclusión de alumnado con diversidad funcional auditiva. Murcia : Publicaciones de la Universidad de Murcia, 2017, págs. 129-152.

**ZENON CUCHO, M.; et al.** Microcontroladores. 2013. 2013, págs. 3 - 10.

## ANEXOS

### ANEXO A: Característica técnica del Arduino Mega 2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz



## ANEXO B: Característica Técnica del Servomotor

# Hitec HS-311 - Standard Economy Servo

## Specifications

Modulation:	Analog
Torque:	<b>4.8V:</b> 42.00 oz-in (3.02 kg-cm) <b>6.0V:</b> 49.00 oz-in (3.53 kg-cm)
Speed:	<b>4.8V:</b> 0.19 sec/60° <b>6.0V:</b> 0.15 sec/60°
Weight:	1.51 oz (42.8 g)
Dimensions:	<b>Length:</b> 1.57 in (39.9 mm) <b>Width:</b> 0.78 in (19.8 mm) <b>Height:</b> 1.43 in (36.3 mm)
Motor Type:	3-pole
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Bushing
Rotational Range:	180°
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	900-2100 $\mu$ s
Connector Type:	Universal



Brand:	<b>HITEC</b>
Product Number:	31311S
Typical Price:	12.95 USD
Compare:	<a href="#">view</a> 

# ANEXO C: Característica técnica de la Fuente de Alimentación



50W Single Output Switching Power Supply

**LRS-50** series

## SPECIFICATION

MODEL	LRS-50-3.3	LRS-50-5	LRS-50-12	LRS-50-15	LRS-50-24	LRS-50-36	LRS-50-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	5V	12V	15V	24V	36V	48V
	RATED CURRENT	10A	10A	4.2A	3.4A	2.2A	1.45A	1.1A
	CURRENT RANGE	0 - 10A	0 - 10A	0 - 4.2A	0 - 3.4A	0 - 2.2A	0 - 1.45A	0 - 1.1A
	RATED POWER	33W	50W	50.4W	51W	52.8W	52.2W	52.8W
	RIPLLE & NOISE (max.) Note 2	50mVp-p	80mVp-p	130mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	2.97 - 3.5V	4.5 - 5.5V	10.2 - 13.5V	13.5 - 18V	21.5 - 28.5V	32.4 - 39.5V	43.2 - 52.5V
	VOLTAGE TOLERANCE Note 3	±3.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION Note 4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION Note 5	±2.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	100ms, 30ms@230VAC      2000ms, 30ms@115VAC at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	30ms@230VAC      12ms@115VAC at full load							
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 - 264VAC		120 - 375VDC				
	FREQUENCY RANGE	47 - 63Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	80%	83%	86%	88%	89%	89%	90%
	AC CURRENT (Typ.)	0.95A@115VAC		0.56A@230VAC				
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COULD START 45A@230VAC						
	LEAKAGE CURRENT	<0.75mA / 240VAC						
NOTICE	OVER LOAD	110 - 150% rated output power Protection type: Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed						
	OVER VOLTAGE	3.8 - 4.45V    5.9 - 7.3V    13.8 - 16.2V    18.75 - 21.75V    28.8 - 33.6V    41.4 - 48.6V    55.2 - 64.8V Protection type: Shut down of p.voltage, re-power on to recover						
	WORKING TEMP.	-30 - +70°C (Refer to "Derating Curve")						
ENVIRONMENTAL	WORKING HUMIDITY	20 - 90% RH non-condensing						
	STORAGE TEMP. HUMIDITY	-40 - +85°C, 10 - 95% RH non-condensing						
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 - 50°C)						
	VIBRATION	10 - 500Hz, 5G 10min./cycle, 60min. each along X, Y, Z axes						
	OVER VOLTAGE CATEGORY	III; Compliance to EN61508, EN60178, EN60664-1, EN62477-1; altitude up to 2000 meters						
SAFETY & EMC (Note 8)	SAFETY STANDARDS	UL60950-1, TUV EN60950-1, EN60335-1, EN61558-1-2-16, CCC GB4943.1, BSMI CNS14336-1, EAC TP TC 004, AS/NZS 60950.1 (by CB) approved						
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:4KVAC    I/P-FG:2KVAC    O/P-FG:1.25KVAC						
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P: 1P-FG, O/P-FG: 100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH						
	EMC EMISSION	Compliance to EN55032 (Class B), EN55024, EN61000-3-2, -3, GB/T 9254, ESMI CNS13438, EAC TP TC 020						
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2, 3.4, 5.6, 8.11, EN61000-6-2 (EN5008-2), heavy industry level, criteria A, EAC TP TC 020						
	MTBF	645K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)						
PACKING	DIMENSION	99.82*30mm (L*W*H)						
	PACKING	0.23Kg / 80pcs/14.8Kg/0.83CUFT						
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</li> <li>Ripple &amp; noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uF &amp; 47uF parallel capacitor.</li> <li>Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</li> <li>Line regulation is measured from low line to high line at rated load.</li> <li>Load regulation is measured from 0% to 100% rated load.</li> <li>Length of set up time is measured at cold fast start. Turning ON/OFF the power supply very quickly may lead to increase of the set up time.</li> <li>3.3V, 5V when the load factor 0-50%, the switching power loss is reduced by burst operation, which will cause ripple and ripple noise to go beyond the specifications.</li> <li>The ambient temperature derating of 5°C/1000m is needed for operating altitude greater than 2000m(6500ft).</li> <li>The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. All the EMC tests are been executed by mounting the unit on a 360mm*360mm metal plate with 1mm of thickness. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a>)</li> </ol>							

ANEXO D: Interfaz gráfica de la APP

