



**ESPE**

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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
ROBOT ANIMATRÓNICO HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO  
DE LA TERAPIA DE NIÑOS Y NIÑAS CON SÍNDROME DEL  
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)”.**

**AUTORES:**

**CADENA PATIÑO, GALO FERNANDO**

**OLEAS MONTESDEOCA, HUMBERTO DAVID**

**DIRECTOR: MSC. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO**

**LATACUNGA**

**2019**



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANIMATRÓNICO HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TERAPIA DE NIÑOS Y NIÑAS CON SÍNDROME DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA).”*** fue realizado por las señores **Cadena Patiño, Galo Fernando y Oleas Montesdeoca, Humberto David**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que los sustente públicamente.

**Latacunga, 12 de Noviembre 2019**

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "ANDRÉS GORDÓN GARCÉS".

**Msc. Andrés Marcelo Gordón Garcés**  
C.C. 1803698800

**DIRECTOR**



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

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Cadena Patiño, Galo Fernando*, con cédula de identidad N°1716622657 y *Oleas Montesdeoca, Humberto David*, con cédula de identidad N°1718524430 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANIMATRÓNICO HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TERAPIA DE NIÑOS Y NIÑAS CON SÍNDROME DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA).”*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 12 de Noviembre 2019

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Galo Fernando Cadena Patiño

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Humberto David Oleas Montesdeoca

C.I. 1716622657

C.I. 1718524430



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

*Nosotros, Cadena Patiño, Galo Fernando y Oleas Montesdeoca, Humberto David, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANIMATRÓNICO HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TERAPIA DE NIÑOS Y NIÑAS CON SÍNDROME DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA).” en el repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.*

Latacunga, 12 de Noviembre 2019

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Galo Fernando Cadena Patiño

C.I. 1716622657

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Humberto David Oleas Montesdeoca

C.I. 1718524430

## **DEDICATORIA**

Esta investigación se la dedico a mis padres y hermanas, quienes han sabido guiarme por un camino lleno de valores, brindándome su cariño y apoyo incondicional en el transcurso de mi etapa universitaria.

**Galo Cadena**

## **DEDICATORIA**

A mi madre y a mi padre, quienes con amor y sacrificio me acompañaron durante esta etapa de mi vida brindándome su cariño y palabras de aliento en momentos en que los necesitaba, por ser mi inspiración para superarme. A mi hermano y a mi cuñada que siempre me han mostrado su apoyo a lo largo de toda mi vida, a mi primo Julio que supo apoyarme en los momentos en que más lo necesite, A mis amigos en general que me acompañaron durante toda mi etapa universitaria, en especial a Andrés y Ricardo.

**David Oleas**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Fernando y Clara, quienes son el pilar de mi vida y han sabido apoyarme y aconsejarme a lo largo de la carrera universitaria.

A mis hermanas Lid y Camily, quienes siempre confiaron en mí y me brindaron todo su amor y cariño en cada paso de este camino.

A mis familiares, que supieron apoyarme y estar presentes en el desenlace de mi etapa universitaria.

A mis amigos, que, brindándome su sincera amistad, ayudaron a cumplir con este objetivo.

A mis profesores, por transferir sus conocimientos, por la paciencia brindada, y por guiarme en el transcurso de la carrera.

**Galo Cadena**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y familiares quienes han sido mi guía y mi pilar durante esta etapa que, aunque estuvo llena de adversidades y dificultades siempre estuvieron caminando a mi lado a lo largo es este camino.

Al ingeniero Andrés Gordón, por ser el director del proyecto, quien nos brindó su apoyo, conocimientos y confianza para poder llevarlo a cabo.

A mis amigos, que supieron estar durante toda la carrera universitaria, mostrándonos su amistad y apoyo.

**David Oleas**



<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1	Planteamiento del Problema .....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Justificación e Importancia .....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo General .....	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	5

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN**

2.1	Trastorno del Espectro Autista (TEA).....	6
2.1.1	Definición.....	6
2.1.2	Historia. ....	6
2.1.3	Etiología. ....	7
2.1.4	Síntomas asociados. ....	8
2.1.5	Diagnóstico.....	8
2.1.6	Tratamientos.....	10
a.	Tratamientos sensoriomotrices.....	11
b.	Tratamientos psicoeducativos y psicológicos .....	11
c.	Sistemas Alternativos / Aumentativos de comunicación .....	12

d.	Tratamientos biomédicos .....	13
2.1.7	Método Teacch .....	13
2.2	Robótica.....	14
2.2.1	Robot .....	15
a.	Robot animatrónico .....	15
b.	Robot Humanoide .....	16
c.	Robot Social .....	17
d.	Robots Sociales para Terapia .....	19
2.3	Procesamiento de imágenes con Kinect .....	21
2.4	Desarrollo de Aplicaciones Multimedia .....	23
2.4.1	Funciones .....	23
2.4.2	Metodología .....	24
a.	Análisis.....	25
b.	Diseño.....	25
c.	Desarrollo .....	25
d.	Pruebas de funcionamiento .....	25
e.	Entrega .....	26

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

3.1	Descripción de necesidades .....	27
3.2	Arquitectura del diseño.....	28
3.3	Definición y selección de alternativas de diseño .....	29
3.3.1	Módulo 1: Estructura.....	30
a.	Técnicas de manufactura .....	30
b.	Selección de la técnica de manufactura para la estructura del cuerpo .....	31
c.	Selección de la técnica de manufactura para la estructura de los brazos .....	34
d.	Entorno .....	36
3.3.2	Módulo 2: Movimiento .....	37
a.	Características de los dispositivos de captura de movimiento .....	37
b.	Selección de dispositivo de captura de movimiento de mano.....	37
3.3.3	Módulo 3: Control.....	40

a.	Características de Processing .....	40
b.	Características de Eclipse .....	41
c.	Selección de software para el control.....	41
3.3.4	Módulo 4: Eléctrico y Electrónico .....	44
a.	Características de tarjetas de control.....	44
b.	Selección de tarjeta de control .....	45
c.	Características de actuadores .....	48
d.	Selección de actuadores .....	49
e.	Dimensionamiento de los actuadores .....	51
f.	Dispositivo de transmisión de voz .....	55
3.3.5	Módulo 5: Aplicación Multimedia.....	56
a.	Características de Android Studio.....	57
b.	Características de Processing para Android .....	57
c.	Características de App Inventor .....	57
d.	Selección de Software .....	58
3.3.6	Módulo 6: Suministro de Energía .....	61
a.	Batería .....	61
b.	Transformador de Voltaje .....	61
c.	Selección del suministro de energía.....	61
3.4	Diseño mecánico del robot animatrónico humanoide .....	65
3.4.1	Medidas Antropométricas .....	65
3.4.2	Diseño del cuerpo.....	69
a.	Análisis mecánico del cuerpo.....	70
3.4.3	Diseño de los brazos.....	71
a.	Análisis mecánico de los brazos.....	72
3.4.4	Entorno .....	79
3.5	Diseño Electrónico .....	79
3.6	Diseño Final.....	80

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

4.1.1	Construcción del robot animatrónico humanoide .....	81
-------	---	----

a.	Construcción del cuerpo.....	81
b.	Construcción y ensamble de los brazos.....	82
c.	Implementación de componentes eléctricos y electrónicos .....	86
4.2	Implementación de interfaces gráficas .....	86
4.2.1	Interfaz gráfica del terapeuta.....	86
4.2.2	Interfaz gráfica del usuario.....	93
a.	Ingreso e inicio. ....	94
b.	Registro de niño. ....	96
c.	Juegos.....	96
d.	Consulta de datos .....	104
e.	Resultado de actividades .....	105

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

5.1	Valoración terapéutica.....	108
5.2	Valoración con niños y niñas con TEA.....	109
5.3	Técnica de evaluación .....	111
5.4	Tabulación de encuestas .....	111
5.4.1	Interpretación de resultados .....	112
5.5	Validación de la Hipótesis.....	120
5.5.1	Planteamiento de la Hipótesis .....	120
5.5.2	Variables de Investigación. ....	120
5.5.3	Validación de la Hipótesis.....	120

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Conclusiones.....	126
6.2	Recomendaciones.....	127

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>129</b>
---------------------------	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>140</b>
---------------------	------------



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de los trastornos generalizados.</i> .....	7
<b>Tabla 2</b> <i>Síntomas asociados con el autismo</i> .....	8
<b>Tabla 3</b> <i>Señales de alerta de daño neurológico</i> .....	9
<b>Tabla 4</b> <i>Niveles de gravedad del trastorno del espectro autista</i> .....	10
<b>Tabla 5</b> <i>Tratamientos psicoeducativos y psicológicos</i> .....	12
<b>Tabla 6</b> <i>Sistemas alternativos / aumentativos de comunicación</i> .....	12
<b>Tabla 7</b> <i>Principales componentes del método Teacch.</i> .....	13
<b>Tabla 8</b> <i>Aspectos para aplicar el método TEACCH.</i> .....	14
<b>Tabla 9</b> <i>Clasificación del robot social.</i> .....	18
<b>Tabla 10</b> <i>Funciones de aplicaciones multimedia</i> .....	24
<b>Tabla 11</b> <i>Descripción de necesidades.</i> .....	27
<b>Tabla 12</b> <i>Arquitectura modular</i> .....	29
<b>Tabla 13</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para técnica de manufactura del cuerpo.</i> .....	31
<b>Tabla 14</b> <i>Ponderación de costo para técnica de manufactura.</i> .....	32
<b>Tabla 15</b> <i>Ponderación de accesibilidad para técnica de manufactura.</i> .....	32
<b>Tabla 16</b> <i>Ponderación de robustez para selección de técnica de manufactura.</i> .....	32
<b>Tabla 17</b> <i>Conclusión de alternativa a la técnica de manufactura.</i> .....	33
<b>Tabla 18</b> <i>Propiedades de la fibra de vidrio tipo E.</i> .....	33
<b>Tabla 19</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para técnica de manufactura de los brazos.</i> .....	34
<b>Tabla 20</b> <i>Ponderación de costo para técnica de manufactura de los brazos.</i> .....	34
<b>Tabla 21</b> <i>Ponderación de accesibilidad para técnica de manufactura de los brazos.</i> 35	
<b>Tabla 22</b> <i>Ponderación de robustez para selección de técnica de manufactura de los brazos.</i> .....	35
<b>Tabla 23</b> <i>Conclusión de alternativa a la técnica de manufactura de los brazos.</i> .....	36
<b>Tabla 24</b> <i>Propiedades del PLA.</i> .....	36
<b>Tabla 25</b> <i>Características de dispositivos de captura de movimiento de brazos.</i> .....	37
<b>Tabla 26</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación del dispositivo de captura de movimiento.</i> .....	37

<b>Tabla 27</b> <i>Ponderación de costo para dispositivo que capture movimiento de los brazos.....</i>	37
<b>Tabla 28</b> <i>Ponderación de implementación para dispositivo que capture movimiento de los brazos.....</i>	38
<b>Tabla 29</b> <i>Ponderación de disponibilidad para dispositivo que capture movimiento de los brazos.....</i>	39
<b>Tabla 30</b> <i>Conclusión de alternativa para dispositivo que capture movimiento de los brazos.....</i>	39
<b>Tabla 31</b> <i>Requerimientos mínimos del sistema para Kinect.....</i>	40
<b>Tabla 32</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación del software de control.....</i>	42
<b>Tabla 33</b> <i>Ponderación de entorno para el software de control.....</i>	42
<b>Tabla 34</b> <i>Ponderación de programación para el software de control.....</i>	42
<b>Tabla 35</b> <i>Ponderación de información para el software de control.....</i>	43
<b>Tabla 36</b> <i>Conclusión de alternativa para software de control.....</i>	43
<b>Tabla 37</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para seleccionar la tarjeta de control.....</i>	45
<b>Tabla 38</b> <i>Ponderación de costo para tarjetas de control.....</i>	46
<b>Tabla 39</b> <i>Ponderación de programación de tarjetas de control.....</i>	46
<b>Tabla 40</b> <i>Ponderación de implementación de tarjeta de control.....</i>	46
<b>Tabla 41</b> <i>Selección de tarjeta de control.....</i>	47
<b>Tabla 42</b> <i>Modelos de Arduino y sus características.....</i>	47
<b>Tabla 43</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para seleccionar los actuadores.....</i>	49
<b>Tabla 44</b> <i>Ponderación de costo para actuadores.....</i>	49
<b>Tabla 45</b> <i>Ponderación de control de actuadores.....</i>	50
<b>Tabla 46</b> <i>Ponderación de implementación de actuadores.....</i>	50
<b>Tabla 47</b> <i>Selección de actuadores.....</i>	50
<b>Tabla 48</b> <i>Características del servomotor.....</i>	54
<b>Tabla 49</b> <i>Características del módulo de voz.....</i>	56
<b>Tabla 50</b> <i>Características Tablet.....</i>	56
<b>Tabla 51</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación del software de desarrollo de aplicaciones.....</i>	58

<b>Tabla 52</b> <i>Ponderación de costo para el software de desarrollo de aplicaciones.....</i>	58
<b>Tabla 53</b> <i>Ponderación de programación para el software de desarrollo de aplicaciones .....</i>	59
<b>Tabla 54</b> <i>Ponderación de compatibilidad para software de desarrollo de aplicaciones.....</i>	59
<b>Tabla 55</b> <i>Conclusión de alternativa para software de desarrollo de aplicaciones.....</i>	59
<b>Tabla 56</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación del suministro de energía. ....</i>	61
<b>Tabla 57</b> <i>Ponderación de costo para suministro de energía. ....</i>	62
<b>Tabla 58</b> <i>Ponderación de autonomía para suministro de energía. ....</i>	62
<b>Tabla 59</b> <i>Ponderación de implementación para suministro de energía.....</i>	62
<b>Tabla 60</b> <i>Conclusión de alternativa para suministro de energía. ....</i>	63
<b>Tabla 61</b> <i>Características técnicas del transformador de voltaje. ....</i>	64
<b>Tabla 62</b> <i>Características técnicas del reductor de voltaje. ....</i>	64
<b>Tabla 63</b> <i>Dimensiones antropométricas de pie. ....</i>	66
<b>Tabla 64</b> <i>Dimensiones antropométricas lateral y frontal.....</i>	67
<b>Tabla 65</b> <i>Dimensiones antropométricas del cuerpo. ....</i>	68
<b>Tabla 66</b> <i>Características de la aleación de aluminio 3003.....</i>	73
<b>Tabla 67</b> <i>Datos de terapeutas. ....</i>	110
<b>Tabla 68</b> <i>Resultados de preguntas con criterio de evaluación: Si o No.....</i>	111
<b>Tabla 69</b> <i>Resultado de preguntas con criterio de evaluación cualitativo. ....</i>	112
<b>Tabla 70</b> <i>Frecuencias observadas. ....</i>	121
<b>Tabla 71</b> <i>Frecuencias esperadas. ....</i>	122
<b>Tabla 72</b> <i>Resultado del Chi-Cuadrado. ....</i>	123



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Robot animatrónico animal .....	16
<i>Figura 2.</i> Robot Asimo de Honda.....	17
<i>Figura 3.</i> Concepto de robot social.....	17
<i>Figura 4.</i> Robot terapéutico Paro .....	19
<i>Figura 5.</i> Robot minimalista Kaspar.....	20
<i>Figura 6.</i> Robot NAO .....	21
<i>Figura 7.</i> Kinect de Microsoft .....	22
<i>Figura 8.</i> Puntos de articulaciones por Kinect.....	23
<i>Figura 9.</i> Método del desarrollo de aplicaciones multimedia .....	24
<i>Figura 10.</i> Arquitectura del diseño .....	29
<i>Figura 11.</i> Kinect.....	39
<i>Figura 12.</i> Distancia para el dispositivo Kinect .....	40
<i>Figura 13.</i> Entorno de desarrollo de Processing.....	44
<i>Figura 14.</i> Servomotor.....	51
<i>Figura 15.</i> Centro de masa del brazo.....	52
<i>Figura 16.</i> Servomotor.....	54
<i>Figura 17.</i> Tarjeta de depuración TTL/USB. ....	55
<i>Figura 18.</i> Emic 2 Text-To-Speech. ....	55
<i>Figura 19.</i> Entorno de Android Studio .....	60
<i>Figura 20.</i> Transformador de Voltaje .....	63
<i>Figura 21.</i> Reductor DC-DC. ....	64
<i>Figura 22.</i> Dimensiones antropométricas de pie .....	65
<i>Figura 23.</i> Dimensiones antropométricas lateral y frontal .....	66
<i>Figura 24.</i> Dimensiones antropométricas sentado.....	67
<i>Figura 25.</i> Dimensiones antropométricas de cabeza, pie y mano .....	68
<i>Figura 26.</i> Diseño del cuerpo. ....	69
<i>Figura 27.</i> Esfuerzo de Von Mises en el tórax. ....	70
<i>Figura 28.</i> Factor de seguridad del tórax. ....	70
<i>Figura 29.</i> Diseño del brazo .....	71
<i>Figura 30.</i> Esfuerzo de Von Mises en Base del servomotor. ....	72
<i>Figura 31.</i> Factor de seguridad en base del servomotor. ....	73

<b>Figura 32.</b> Esfuerzo de Von Mises en soporte lateral servomotor. ....	74
<b>Figura 33.</b> Factor de seguridad en soporte lateral servomotor. ....	74
<b>Figura 34.</b> Esfuerzo de Von Mises en eslabón brazo. ....	75
<b>Figura 35.</b> Factor de seguridad en eslabón brazo. ....	76
<b>Figura 36.</b> Esfuerzo de Von Mises de soporte en U servomotor.....	76
<b>Figura 37.</b> Factor de seguridad de soporte en U servomotor.....	77
<b>Figura 38.</b> Esfuerzo de Von Mises en eslabón antebrazo.....	78
<b>Figura 39.</b> Factor de seguridad en eslabón antebrazo. ....	78
<b>Figura 40.</b> Entorno.....	79
<b>Figura 41.</b> Diagrama de conexión del robot animatrónico humanoide. ....	80
<b>Figura 42.</b> Ensamble del robot animatrónico humanoide .....	80
<b>Figura 43.</b> Estructura del cuerpo .....	81
<b>Figura 44.</b> Piezas impresas en 3D. ....	82
<b>Figura 45.</b> Ensamble servomotor base. ....	82
<b>Figura 46.</b> Ensamble del primer grado de libertad. ....	83
<b>Figura 47.</b> Ensamble del segundo grado de libertad. ....	83
<b>Figura 48.</b> Ensamble eslabón brazo.....	84
<b>Figura 49.</b> Ensamble del tercer grado de libertad.....	84
<b>Figura 50.</b> Ensamble eslabón antebrazo. ....	85
<b>Figura 51.</b> Ensamble brazo con cuerpo .....	85
<b>Figura 52.</b> Robot animatrónico humanoide .....	86
<b>Figura 53.</b> Ejemplos de Processing .....	88
<b>Figura 54.</b> Selección de ejemplo. ....	88
<b>Figura 55.</b> Ejecución de ejemplo.....	89
<b>Figura 56.</b> Importación librería. ....	89
<b>Figura 57.</b> Instalación de librería.....	90
<b>Figura 58.</b> Interfaz del terapeuta.....	91
<b>Figura 59.</b> Pantalla de movimientos. ....	91
<b>Figura 60.</b> Pantalla de terapia. ....	92
<b>Figura 61.</b> Pantalla de conversación.....	93
<b>Figura 62.</b> Ingreso del terapeuta. ....	94
<b>Figura 63.</b> Registro del terapeuta. ....	95

<b>Figura 64.</b> Pantalla de inicio.....	95
<b>Figura 65.</b> Registro de niño.....	96
<b>Figura 66.</b> Selección de niño.....	96
<b>Figura 67.</b> Tipo de actividad.....	97
<b>Figura 68.</b> Clasificación según color.....	98
<b>Figura 69.</b> Emparejamiento de animales.....	98
<b>Figura 70.</b> Emparejamiento basado en vocales.....	99
<b>Figura 71.</b> Clasificación animales y frutas.....	99
<b>Figura 72.</b> Clasificación singular y plural.....	100
<b>Figura 73.</b> Encuentro de letra específica.....	100
<b>Figura 74.</b> Rutina de ir a dormir.....	101
<b>Figura 75.</b> Rutina de ir al colegio.....	102
<b>Figura 76.</b> Días de la semana.....	102
<b>Figura 77.</b> Animales de granja.....	103
<b>Figura 78.</b> Aula de clases.....	103
<b>Figura 79.</b> Medios de Transporte.....	104
<b>Figura 80.</b> Consulta de niño.....	104
<b>Figura 81.</b> Edición de datos del niño.....	105
<b>Figura 82.</b> Lista de niños.....	106
<b>Figura 83.</b> Resultado por actividad.....	106
<b>Figura 84.</b> Resultado por juego.....	107
<b>Figura 85.</b> Interacción de terapeuta con robot.....	109
<b>Figura 86.</b> Interacción paciente-robot.....	110
<b>Figura 87.</b> Resultados pregunta 1.....	112
<b>Figura 88.</b> Resultados de la pregunta 2.....	113
<b>Figura 89.</b> Resultados de la pregunta 3.....	114
<b>Figura 90.</b> Resultados de la pregunta 4.....	114
<b>Figura 91.</b> Resultados de la pregunta 5.....	115
<b>Figura 92.</b> Resultados de la pregunta 6.....	115
<b>Figura 93.</b> Resultados de la pregunta 7.....	116
<b>Figura 94.</b> Resultados de la pregunta 8.....	116
<b>Figura 95.</b> Resultados de la pregunta 9.....	117

<b>Figura 96.</b> Resultados de la pregunta 10. ....	117
<b>Figura 97.</b> Resultados de la pregunta 11. ....	118
<b>Figura 98.</b> Resultados de la pregunta 12. ....	118
<b>Figura 99.</b> Resultados de la pregunta 13. ....	119
<b>Figura 100.</b> Resultados de la pregunta 14. ....	119

## RESUMEN

El presente proyecto integra la tecnología de robótica, procesamiento de imágenes, y aplicaciones multimedia con el tratamiento de niños y niñas que poseen el síndrome del trastorno del espectro autista (TEA). En inicio se realiza una búsqueda de información referente a los temas de incumbencia, también se realiza una visita a un centro especializado en terapias con el fin de tener un mejor enfoque proyectándolo en las terapias que se ejecutan. En el proyecto se aplica el método de criterios ponderados para la adecuada selección de los componentes del proyecto. Para el diseño del robot animatrónico humanoide se consideran factores como: estética, tamaño, peso, y robustez; se hace el análisis mecánico con la finalidad de validar y garantizar un óptimo funcionamiento. Las aplicaciones multimedia se basan en el método TEACCH (Treatment and Education of Autistic Related Communication Handicapped Children), posee una base de datos que gestiona la información para que el terapeuta pueda realizar retroalimentación enfocado a la terapia, y se conectan con la interfaz gráfica del terapeuta. Para validar el funcionamiento se realizan varias sesiones durante tres semanas con terapeutas especializados, seguido se elaboran encuestas para los especialistas y con el método estadístico Chi-cuadrado se corrobora la hipótesis propuesta.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **ROBOT ANIMATRÓNICO HUMANOIDE**
- **MÉTODO TEACCH**
- **TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA**
- **AUTISMO**

**ABSTRACT**

The present project integrates the technology of robotics, image processing, and multimedia applications with the treatment of children who have the syndrome of autism spectrum disorder (ASD). In the beginning, a search for information regarding the topics of concern is carried out, a visit to a center specialized in therapies is also carried out in order to have a better approach by projecting it on the therapies that are executed. In the project, the weighted criteria method is applied for the adequate selection of the project components. For the design of the humanoid animatronic robot, factors such as: aesthetics, size, weight, and robustness are considered; The mechanical analysis is done in order to validate and guarantee optimum performance. The multimedia applications are based on the TEACCH (Treatment and Education of Autistic Related Communication Handicapped Children) method, have a database that manages the information so that the therapist can perform feedback focused on therapy, and connect with the graphic interface of the therapist. To validate the operation, several sessions are carried out during three weeks with specialized therapists, followed by surveys for specialists and the Chi-square statistical method corroborates the proposed hypothesis.

**KEYWORDS:**

- **HUMANOID ANIMATRONIC ROBOT**
- **TEACCH METHOD**
- **AUTISM SPECTRUM DISORDER**
- **AUTISM**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del Problema

En el último informe sobre los trastornos mentales, la Organización Mundial de la Salud menciona que hay una gran variedad de trastornos mentales, cada uno de ellos es distinto del resto. Estos se caracterizan por la unión de alteraciones del pensamiento, la percepción, las emociones, la conducta y las relaciones con los demás. Los sistemas de salud todavía no han dado una respuesta adecuada a la carga de trastornos mentales; por lo que la necesidad de tratamiento difiere a la prestación de servicios en todo el mundo. (OMS, 2017)

En los países de ingresos bajos y medios, entre un 76% y un 85% de las personas con trastornos mentales graves no recibe tratamiento conductual o de aprendizaje; la cifra es igualmente alta en los países de ingresos elevados: entre un 35% y un 50%. (OMS, 2017)

Los programas educativos son utilizados frecuentemente con la finalidad de que se satisfagan sus necesidades, tales como mantenerse activos en su entorno social, y la inclusión en la educación regular. Generalmente los tratamientos en el Ecuador son realizados con métodos convencionales como el TEACCH utilizando herramientas no tecnológicas. (Noboa, 2017) Estos métodos producen cansancio, frustración y aburrimiento por lo que se hace difícil el tratamiento. Es indispensable que estas terapias vayan acompañadas con estímulos de carácter tecnológico. Con la evolución de la robótica educativa, varios terapeutas de los diferentes centros para el tratamiento del trastorno del espectro autista del país sugieren que se puede implementar un cambio positivo en los procesos de terapia para niños que tienen este síndrome llamando la atención, y sirviendo de interfaz entre el usuario y el terapeuta, de tal manera que la terapia sea agradable para ambos, lo cual no se puede conseguir con las terapias

tradicionales. Teniendo en cuenta esta situación, el presente proyecto propone el diseño y construcción de un robot humanoide animatrónico para el mejoramiento de la terapia de niños y niñas con TEA.

## **1.2 Antecedentes.**

Las personas que presentan condiciones del espectro autista sufren continuamente de un fuerte aislamiento social, debido a esta condición además se les dificulta el reconocimiento de estados emocionales de las personas de su entorno, por lo cual los métodos de tratamiento existentes en la actualidad son muy diversos. Los tratamientos para el TEA se pueden agrupar en diferentes categorías: Programas conductuales, programas de educación y aprendizaje, medicamentos y otros tratamientos y terapias. Los programas conductuales buscan abordar destrezas sociales, la atención, la interacción con los padres, por lo general en este tipo de programas se requiere la ayuda de terapeutas. Los programas de educación y aprendizaje son ofertados mayormente por centros de enseñanza y se concentran en las destrezas de aprendizaje y razonamiento, el uso de medicamentos tiene como fin la reducción de la agresividad, la hiperactividad y la tendencia a autolesionarse, pero este programa suele ser más usado en niños cuyos síntomas aumenten el riesgo de autolesionarse. Una de las herramientas que se encuentra en investigación es la robótica, las terapias asistidas por robots son prometedoras debido a que los robots sociales son adecuados para el tratamiento del autismo debido a su sencillez y predictibilidad. (García D. , 2013)

Diversas instituciones y universidades han realizado proyectos con el fin de ayudar a la forma de expresar ideas, de comunicarse, de concentrarse y de pensar secuencialmente.

En la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España se desarrolló el proyecto denominado “Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables”, en el cual se



desarrolla un robot con un conjunto de habilidades de interacción básicas, que ayudan a diferentes problemas de carácter social. (Suárez, 2016)

En la Universidad de Palermo en Buenos Aires, Argentina se realizó el proyecto “Experiencia piloto con Lego y Robots para el desarrollo de la interacción social en niños y jóvenes con autismo” en la cual realizan una serie de actividades desde la construcción del robot actividad en la cual se fomenta el trabajo en equipo y la comunicación. Este proyecto demuestra que el robot social promueve la comunicación de los individuos a través del estímulo producidos por el objeto inteligente. (Paniagua, Naranjo, & D'Agostino, 2015)

En la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Ecuador se realizó el trabajo de titulación denominado “Diseño y construcción de un robot interactivo para el tratamiento de personas con el trastorno del espectro Autista (TEA)”, en el cual se muestra una interacción continua y el diseño es aceptado por pacientes con TEA. (Rubio, 2016)

En la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Ecuador se realizó el proyecto “Desarrollo de un prototipo de robot móvil interactivo para captar la atención de niños con trastorno del espectro autista”, posee temas como la robótica en el aprendizaje de los niños con autismo para lograr la interacción niño-robot. (Mendoza & Veintimilla, 2018)

### **1.3 Justificación e Importancia**

La organización mundial de la salud considera que la mediana de prevalencia estimada de autismo en el mundo es de una persona por cada sesenta y dos personas, y esta cifra ha tenido un aumento del 23% con respecto a años anteriores, y se habla según datos del Ministerio de Salud Pública MSP que en el país existen 1258 personas diagnosticadas hasta el 2016 y 1581 hasta el 2018. (López & Ochoa, 2017) (Espinosa, 2018)

Debido a que las terapias con métodos convencionales como el TEACCH pueden producir cansancio, frustración y aburrimiento en los programas de educación y aprendizaje, es

necesario el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas que permitan poseer mayor cantidad de opciones para el tratamiento, cada paciente que sufre del trastorno de espectro autista es distinto del resto, el sistema de tratamiento debe ser adaptado para cada uno, por lo que la interacción existente entre el terapeuta y cada uno de los pacientes será distinta, pudiendo ir desde buena socialización entre ambos desde el comienzo de las terapias hasta que la relación que exista entre paciente y terapeuta sea difícil de llevar, por lo cual el uso de robots es una solución adecuada debido a su sencillez y a su repetitividad lo que hace que los pacientes se sientan más confiados al momento de interactuar con el robot. (García D. , 2013)

El desarrollo de este tipo de iniciativas en la ayuda a niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista, el cual se manifiesta en la primera infancia y en mayoría de los casos persisten a lo largo de toda la vida alterando la capacidad de interacción y comunicación social además de limitar el interés a cierto número de actividades, es de suma importancia debido a que en el país a pesar de tener varios centros en donde realizan las terapias, estas son tradicionales, por lo que puede producir en ciertas personas que estas terapias no tengan el resultado deseado. (OMS, 2016)

El proyecto contribuye con el desarrollo de investigaciones a través del uso de nuevas tecnologías que puede generar en los pacientes una respuesta emocional facilitando la comprensión de señales sociales complejas, además, el desarrollo de productos tecnológicos a un menor costo debido a la utilización de materiales existentes en el mercado. Aumentando así los recursos disponibles y disminuyendo costos. (Cardona, 2015)

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar, construir e implementar un robot animatrónico humanoide para el mejoramiento de la terapia en niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar acerca del síndrome del trastorno del espectro autista y relacionarlo con terapias enfocadas en robótica.
- Seleccionar el sistema sensorial y actuadores del robot animatrónico humanoide para la imitación de movimientos realizada por el robot.
- Diseñar y construir un robot humanoide animatrónico de tal manera que llame la atención del usuario y sea estético.
- Diseñar interfaces interactivas que permitan el desarrollo de actividades específicas tanto para el usuario como para el terapeuta.
- Diseñar los algoritmos de programación necesarios para la interacción entre el terapeuta, el robot humanoide animatrónico y el usuario.
- Realizar pruebas del robot animatrónico humanoide para validar su funcionamiento.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Trastorno del Espectro Autista (TEA)

##### 2.1.1 Definición.

Es un trastorno de desarrollo complejo, de origen neurobiológico que se manifiesta en los primeros tres años de vida y que se extiende a lo largo del ciclo vital. (Autismo La Garriga, 2016)

La principal característica que define a este trastorno es la divergencia entre el nivel de crecimiento de habilidades de comunicación e interacción social en relación con el nivel de desarrollo de habilidades no verbales (motricidad fina, resolución de problemas), el nivel de comunicación se desarrolla muy por debajo de las habilidades no verbales. (Pérez M. , 2015)

##### 2.1.2 Historia.

En 1911 Bleuler desarrolló el término para referirse a personas con esquizofrenia, las cuales habían perdido total contacto con la realidad. En 1943 Kanner mantiene el término para describir los casos de niños entre 2 y 8 años, los cuales tenían patrones singulares que iban desde alejamiento social, obsesividad y alejamiento de la realidad. Posteriormente, en los 80 la asociación estadounidense de psiquiatría publica el manual del diagnóstico y estadístico de trastornos mentales (DSM III) reconociéndose la existencia del trastorno del espectro autista. En 1994 en el DSM IV son definidos los diferentes trastornos que en la actualidad conforman el espectro autista y también son definidos en la clasificación internacional de enfermedades 10ma edición (ICD 10 OMS), en la Tabla 1 se muestra la clasificación de los trastornos generalizados del desarrollo del espectro autista. (Hervás & Sánchez, 2014)

**Tabla 1**  
*Clasificación de los trastornos generalizados.*

<b>Diagnóstico en el DSM-IV (APA, 1994)</b>	<b>Diagnóstico en la ICD 10 OMS</b>
Trastorno autista	Autismo infantil
Trastorno de Asperger	Síndrome de Asperger
Trastorno desintegrativo de la infancia	Otros trastornos desintegrativos de la infancia
Trastorno de Rett	Síndrome de Rett
TGD -NE	Otros TGD, TGD no especificado
Autismo Atípico	Autismo Atípico
No se corresponde con ningún diagnóstico en el DSM IV	Trastorno hiperactivo con retraso mental con movimientos estereotipados

Fuente: (Hervás & Sánchez, 2014)

En el DSM V, el trastorno autista, el síndrome de Asperger y el trastorno generalizado del desarrollo no especificado se unen en un único trastorno llamado “Trastorno del Espectro del Autismo”. (American Psychiatric Association, 2014)

### **2.1.3 Etiología.**

Las observaciones que se han llevado a cabo a lo largo de los años han evidenciado la cantidad de conocimiento que se desconoce con respecto a este tema. El problema no reside en que no se han encontrado pistas, por el contrario, es que existen demasiadas, es así, que en 1983 el Dr. Ornitz del departamento de psiquiatría de la Universidad de California, Los Ángeles, enlista 26 condiciones patológicas asociadas con el autismo. Se conoce que las múltiples etiologías causantes del autismo se asocian con alteraciones genéticas, trastornos metabólicos o procesos infecciosos que pueden estar presentes durante diferentes etapas del desarrollo prenatal, perinatal, o postnatal del sistema nervioso. (Reichler & Lee, 1987)

En cuanto a genética, el autismo tiene heredabilidad de más del 80%. Reportes han demostrado que la genética del autismo tiene una alta heterogeneidad evidenciándose que en este trastorno se encuentran involucrados hasta más de 1000 genes. (Bonilla & Chaskel, 2016)

Es así que todas las investigaciones sobre la etiología del autismo arrojan orígenes múltiples, pero en la mayoría de casos puede deberse a una incorrecta formación del sistema nervioso, que da origen a un trastorno en la psicogénesis. (Riviere, 1997)

#### **2.1.4 Síntomas asociados.**

Las manifestaciones y síntomas neurológicos asociados en los niños y niñas con autismo son diversas y existe gran variedad de irregularidades en problemas relacionados con la conducta, en la Tabla 2 se muestran algunos de dichos síntomas.

**Tabla 2**  
*Síntomas asociados con el autismo*

<b>Síntoma</b>	<b>Problema Relacionado</b>
Lenguaje	Este problema se debe a que se encuentra alterada la comprensión y producción del lenguaje, siendo más afectada la comprensión.
Retraso mental	Las habilidades cognitivas en niños con autismo son anormales pudiendo ir desde un retraso mental profundo hasta capacidades superiores de comprensión.
Epilepsia	Hay un riesgo del 30 al 40% de presentar crisis epilépticas siendo los niños con retraso mental y déficit motor los que presentan mayor riesgo.
Déficit Sensoriales	Suelen ser déficits auditivos, visuales, además de presentar defensa táctil, la cual se caracteriza por el rechazo hacia el contacto físico tales como abrazos.
Problemas motores	Estos suelen ser los problemas menos usuales relacionados con autismo, pero se pueden desarrollar trastornos de la marcha y movimientos atáxicos (errores en velocidad, rango, duración, tiempo y fuerza de la actividad motora).

Fuente: modificada de (Rodríguez & Rodríguez, 2002)

#### **2.1.5 Diagnóstico.**

El DSM V es un manual usado a nivel mundial que se fundamenta en la estadística para la detección de qué comportamientos normales y cuáles se encuentran fuera de la desviación estándar y podrían constituir un trastorno. (Cuxart, 2000)

Dentro de la clasificación internacional del DSM V el autismo está incluido dentro de la categoría de “Trastornos del neurodesarrollo”. (Silva, 2014)

El DSM V menciona que el diagnóstico siempre debe ser realizado por profesionales especializados. Según (Cabaynes, 2004) la familia es la primer involucrado en sospechar la existencia de este trastorno hasta en un 60% de los casos, los profesionales de la salud ocupan un 10% de la detección, el ambiente escolar en un menor porcentaje, hay casos que nunca son detectados. (Secretaría de la Salud, 2012)

Las señales de alerta que hay que considerar según (Secretaría de la Salud, 2015) se muestran en la Tabla 3:

**Tabla 3**  
*Señales de alerta de daño neurológico*

Edad	Señales
Recién nacido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cabeza hacia atrás constantemente.</li> <li>- Disminución del tono muscular.</li> <li>- No reacción a sonidos.</li> </ul>
3 meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No sostén cefálico.</li> <li>- Manos empuñadas.</li> <li>- Atrapamiento del pulgar.</li> <li>- No sonrisa facial.</li> <li>- No fija la mirada.</li> </ul>
5 meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No rodamiento.</li> <li>- Apoyo pies en puntas.</li> <li>- Hipoactividad o irritabilidad permanente.</li> </ul>
A cualquier edad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asimetría en posición o posturas.</li> <li>- Alteraciones en la deglución o succión.</li> <li>- No deambulación a los 18 meses.</li> <li>- Estereotipias verbales en mayores de 24 meses.</li> <li>- Lenguaje incomprensible en mayores de 36 meses.</li> <li>- No hacer gestos ni señales a los 12 meses.</li> <li>- No dice palabras sencillas a los 18 meses.</li> <li>- Cualquier pérdida de habilidades de lenguaje o a nivel social.</li> </ul>

Fuente: (Secretaría de la Salud, 2015)

Según el DSM V los niveles o grados del trastorno del espectro autista están relacionados según la cantidad de ayuda o apoyo que requerirá una persona en el conjunto de actividades diarias, como en el hogar, en la escuela, etc. En la Tabla 4 se muestran los tres niveles que propone el DSM.

**Tabla 4**  
*Niveles de gravedad del trastorno del espectro autista*

Nivel de gravedad	Comunicación Social	Comportamientos restringidos y repetitivos
Grado 3: “Necesita ayuda muy notable”	Deficiencias graves en habilidades de comunicación verbal y no verbal que causan alteraciones marcadas en el funcionamiento, con un inicio muy limitado de interacciones sociales y una respuesta mínima a la apertura social de los otros.	Inflexibilidad del comportamiento, extrema dificultad para afrontar cambios u otros comportamientos restringidos/repetitivos que interfieren notablemente con el funcionamiento en todos los ámbitos. Ansiedad/dificultad intensa al cambiar el foco de interés o la conducta.
Grado 2: “Necesita ayuda notable”	Deficiencias notables en habilidades de comunicación social verbal y no verbal; problemas sociales que son aparentes incluso con apoyos; inicio limitado de interacciones sociales y respuestas reducidas a la apertura social de otros.	Inflexibilidad del comportamiento, dificultades para afrontar el cambio u otras conductas restringidas/repetitivas aparecen con la frecuencia suficiente como para ser obvias a un observador no entrenado e interfieren con el funcionamiento en una variedad de contextos. Ansiedad o dificultad al cambiar el foco de interés o la conducta.
Grado 1: “Necesita ayuda”	Sin ayuda, las dificultades de comunicación social causan alteraciones importantes. Dificultad para iniciar interacciones sociales y ejemplos claros de respuestas atípicas o fallidas a la apertura social de otros. Puede parecer que su interés para interactuar socialmente está disminuido.	La inflexibilidad del comportamiento causa una interferencia significativa en el funcionamiento en uno o más contextos. Los problemas de organización y planificación dificultan la autonomía.

Fuente: (Bonilla & Chaskel, 2016)

### 2.1.6 Tratamientos.

Los diferentes tratamientos relacionados con el síndrome del TEA, están enfocados en reducir las principales singularidades y deficiencias relacionadas con este trastorno, con el fin de poseer una mejor calidad de vida con la mayor libertad posible. (Vargas & Navas, 2012)

Los especialistas de los primeros estudios sobre el autismo se percataron que se enfrentaban a uno de los trastornos más difíciles de tratar de la neuro psiquiatría infantil, por lo que durante cada generación fueron probados diversos métodos terapéuticos, los cuales buscaban una cura definitiva, hasta la actualidad no se la encuentra. La falta de un tratamiento definitivo ha generado el interés por desarrollar diversos métodos cada vez más eficientes.



Desde una perspectiva social el hecho de que personas con TEA puedan ejercer actividades cotidianas, es gracias al resultado de un correcto tratamiento, por lo que la selección de cualquiera de ellos es un tema difícil que genera dudas entre familiares y terapeutas. Sin embargo, existen evidencias de una mejora en la calidad de vida con ciertas terapias específicas. (Grupo de estudio de trastornos del espectro autista del Insituto de Salud Carlos III, 2006) A continuación, se detallan algunos tratamientos del TEA, cabe mencionar que cada tratamiento se establece según las necesidades de cada paciente.

#### **a. Tratamientos sensoriomotrices**

Son aquellos que están destinados a posibilitar el procesamiento a través del cuerpo de los recuerdos implícitos, es decir sitúa la experiencia corporal, como el elemento central desde donde realizar el tratamiento. (Sánchez, 2011)

Estos tratamientos se enfocan especialmente en estímulos auditivos, sesiones de juegos, actividades, movimientos, ejercicios físicos que reciban ciertos estímulos sensoriales que permitan mejor percepción de dichos estímulos. (Grupo de estudio de trastornos del espectro autista del Insituto de Salud Carlos III, 2006)

#### **b. Tratamientos psicoeducativos y psicológicos**

Estos tratamientos están aludidos a la educación o información que se brinda a personas con algún trastorno psicológico a nivel individual, familiar o grupal, busca un cambio en el comportamiento del paciente consolidando fortalezas y aptitudes propias del paciente. (Ocio, 2017) En la Tabla 5 se muestran dos principales tratamientos psicoeducativos y psicológicos.

**Tabla 5**  
*Tratamientos psicoeducativos y psicológicos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
Programas de intervención conductual	Las principales dificultades a las que se enfrentan padres y terapeutas son conductas negativas (no acatar órdenes, agresividad, ataques de ira). Se trata de programas estructurados que sirven para potenciar las actitudes positivas mediante refuerzos positivos y tareas compartidas.
Sistemas de fomento de las competencias sociales	Una de las principales dificultades son las habilidades sociales, lo que este sistema realiza es el aprendizaje de competencias sociales mediante actividades basadas en juegos para el desarrollo de relaciones (RDI).

Fuente: modificada de (Grupo de estudio de trastornos del espectro autista del Insituto de Salud Carlos III, 2006)

### c. Sistemas Alternativos / Aumentativos de comunicación

Todo programa de intervención debe fomentar el crecimiento de habilidades comunicativas espontáneas y naturales, el canal de procesamiento de información en el TEA es visual por lo que este tratamiento decide usar el uso de sistemas aumentativos de comunicación (SAAC) en el que se combina la palabra con apoyos visuales, como fotografías, dibujos, símbolos, etc. (Fortea, Escandell, Castro, & Martos, 2015) En la Tabla 6 se describen algunos de ellos.

**Tabla 6**  
*Sistemas alternativos / aumentativos de comunicación*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
Comunicación facilitada	Desarrollado para apoyar a las personas con autismo y otras discapacidades a comunicarse mediante un teclado o mecanismo similar.
Método TEACCH	Se basa en la educación estructurada (adaptación del medio y de las tareas), dirigida a tratar las diferencias neurológicas de las personas con TEA. Altera conductas irregulares con el propósito de aumentar habilidades comunicativas sociales y adaptativas al propio entorno.
Cognitivo conductual	Busca combinar los pensamientos y las actitudes en las motivaciones y en el comportamiento. Se encuentran las conductas erróneas e irracionales y emociones alteradas para aplicar actividades de modificación de conducta y técnicas de reprogramación cognitiva.
Terapia psicodinámica (Psicoterapia)	Ayuda al paciente a confrontar problemas conscientes o inconscientes con ayuda de una larga relación entre el terapeuta y el paciente.

Psicoterapias expresivas      Técnicas realizadas entre terapeuta y paciente, las cuales ayudan a la expresividad de emociones y apertura de canales de comunicación.

Fuente: (Grupo de estudio de trastornos del espectro autista del Insituto de Salud Carlos III, 2006)

#### **d. Tratamientos biomédicos**

Comprende identificación y el tratamiento de problemas médicos en personas con el TEA que agrupa el conjunto de acciones, procedimientos y exámenes auxiliares. Los problemas más comunes son gastrointestinales, toxicológicos, inmunológicos, hormonales y de metabolismo. (Pangborn & MacDonald, 2005)

##### **2.1.7 Método Teacch**

Fue creado en Estados Unidos en 1966, se centra en comprender la manera en que las personas con TEA piensan, experimentan y aprenden del mundo. Dentro de las actividades que realiza este método se encuentran: el diagnóstico, entrenamiento con padres, desarrollo de habilidades sociales y de comunicación, entrenamiento de lenguaje y búsqueda del empleo. (García R. , 2015) Los principales componentes de este método se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.**  
*Principales componentes del método Teacch*

#	Componente
1	Centrarse en el aprendizaje estructurado.
2	Manejo de estrategias visuales para orientar al niño.
3	Aprendizaje de un sistema de comunicación basado en gestos, imágenes, signos o palabras.
4	Aprendizaje de habilidades pre académicas como colores, números, formas.
5	Trabajo de padres como coterapeutas.

Fuente: (Mulas, y otros, 2010)

Este método proporciona las herramientas para trabajar con personas de diferentes edades, cualquier nivel de desarrollo, en diversos contextos y a lo largo de las etapas de la vida.

(Almachi, 2017) Las principales técnicas educativas son información visual, organización espacial, concepto de terminado, rutinas flexibles e individualización. (Cuadrado, 2018)

Para aplicar el método se toman en consideración los siguientes aspectos que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

*Aspectos para aplicar el método TEACCH*

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
Enseñanza estructurada	Permite la organización de entornos, contextos, fronteras físicas, rutinas diarias, permitiendo al alumno saber lo que tiene que realizar a cada momento del día.
Actividades secuenciadas visualmente	Debido a que estos alumnos suelen distraerse con facilidad, las actividades secuenciadas de manera visual facilitan la tarea y permiten mayor concentración.

Fuente: (García R. , 2015)

## 2.2 Robótica

Es la disciplina que une todas aquellas actividades vinculadas con el estudio, diseño, construcción, operación y mantenimiento de robots. (Ruiz del Solar & Salazar, 2013)

El empleo de la robótica ha ido aumentando progresivamente a pesar que es una disciplina relativamente joven que experimenta un crecimiento rápido impulsado por la mejora en computación, sensores, electrónica y software. Una de sus prácticas más usadas se encuentra en las líneas de producción gracias a que permite una reducción de recursos y aumento de producción, siendo más eficiente. (Ollero, 2005) Las aplicaciones de la robótica aplicadas a servicios sociales también han ido mejorando en el transcurso de los años con el fin de crear una segura y cercana relación con los humanos mientras los asisten. (Vélez & Quingatuña, 2014)

### **2.2.1 Robot**

Existe gran variedad de definiciones, la comisión europea lo define como: Es un actuador independiente y máquina auto controladora equipada con herramientas específicas para manejar o maquinar y cuyos movimientos son programables con respecto a la orientación, posición y secuencia, otra definición es la de la federación internacional de robots (IFR) que lo define como: un robot que opera de forma semi o totalmente autónoma para realizar servicios útiles para el bienestar de las personas y equipos, excluyendo las operaciones de manufactura. (Ruiz de Garibay Pascual, 2019)

Los tipos de robots considerados por el GtRob del comité español de automática (CEA) son: aéreos, asistenciales o sociales, autónomos, caminantes, celulares cooperantes, de inspección, de educación, de entretenimiento, escaladores, espaciales, de exteriores, de servicio, flexibles, humanoides, manipuladores, marinos, biomédicos, móviles, paralelos, personales, submarinos, multi robots, tele robots, manipuladores móviles, mini y micro robots. (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007)

#### **a. Robot animatrónico**

La palabra animatrónica fue mencionada por primera vez en Estados Unidos de la mano de los ingenieros de Walt Disney que describían así a sus robots, surge al combinar ánima que significa vida y tronic que se traduce como electrónica, siendo de esta manera la mezcla entre el arte y la ciencia. (Zerón, 2007) Los robots animatrónicos son máquinas diseñadas y construidas para simular el aspecto y comportamiento de humanos, animales, o personajes de ficción. En la Figura 1 se muestra un robot animatrónico animal. Ciertos robots buscan imitar o reconocer gestos, lo que permite ser usados en diferentes aplicaciones como entretenimiento, aprendizaje o incluso terapia psicológica. (Hérmendez, 2008)



**Figura 1.** Robot animatrónico animal

Fuente: (Gorby, 2019)

Uno de los mayores retos que enfrentan los animatrónicos es el generar sensaciones en el interlocutor, no solo en el habla, sino también con movimientos.

#### **b. Robot Humanoide**

Es un sistema mecatrónico de alto nivel cuyo funcionamiento solo puede obtenerse mediante la sinergia de los componentes mecánicos, sensores, actuadores, software y otras tecnologías que pueden componerle. (Govea, y otros, 2014) Son máquinas elaboradas para trabajar en el mismo ambiente en el cual las personas realizan sus actividades, su principal diferencia con otro tipo de robots es su apariencia que es similar a la del cuerpo humano, además puede ser usado en diferentes aspectos como servicios, medicina, educación, entretenimiento, entre otros. (He & Guo, 2016) En la actualidad son varias las universidades y empresas que se han dedicado al desarrollo y construcción de robots que estén más involucrados en la vida de los seres humanos y ya no enfocados exclusivamente a la industria, como ejemplo la empresa Honda con su prototipo Asimo, la empresa Sony con su prototipo QRIO, en la Figura 2 se muestra el robot Asimo de Honda. (Guaypatin, Borja, Villa, Roldán, & Tapia, 2019)

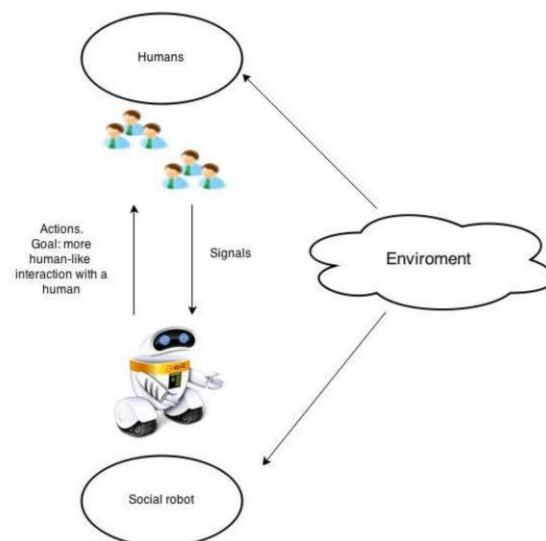


**Figura 2.** Robot Asimo de Honda

Fuente: (Honda, 2019)

### c. Robot Social

Un robot social se define como la unión de un robot asistido y un robot socialmente interactivo, es decir, son aquellos que se desenvuelven con las personas en entornos asistenciales, urbanos, o simplemente en el sector de los servicios. (Nejat & Ficocelli, 2008) En la Figura 3 se muestra el concepto de la interacción de robot social.



**Figura 3.** Concepto de robot social

Fuente: (Kirandziska & Nevena, 2014)

Un robot social debería poseer alguna característica física humana, también comunicación verbal o no verbal, además debería poseer su propio cuerpo y percibir y expresar emociones. (Kirandziska & Nevena, 2014)

La importancia de un robot social es la capacidad de interactuar con la inteligencia emocional del ser humano debido a que dicha inteligencia depende altamente de la parte social y el medio en que se rodea, ayudando así, a la convivencia entre humanos y robots. (Vélez & Quingatuña, 2014)

Las principales funciones de los robots sociales son la educación, entretenimiento, organización de actividades, cuidado de mascotas, vigilancia, tareas domésticas, ayuda a personas mayores o con discapacidades, también hay una gran acogida en el sector comercial y productivo. (Abad, Sanchez, Crespo, & Alvarado, 2017)

En ciertos casos la interacción social puede ir ligada a tareas de asistencia y sociabilización y de esta manera proveer y ser soporte para los usuarios. (Vélez & Quingatuña, 2014) Se puede clasificar a los robots sociales en grupos dependiendo la complejidad en el ambiente en el cual interactúan, en la Tabla 9 se muestra dicha clasificación. (Koro, 2017)

**Tabla 9.**  
*Clasificación del robot social*

<b>Clasificación</b>	<b>Definición</b>
Socialmente evocativos	Se caracterizan por antropomorfizar a los robots para animar a los individuos a interactuar con ellos.
Robots de interfaz social	Usan un estilo de comunicación parecido al humano, lo que ayuda a la interacción con las personas.
Socialmente receptivos	Se caracterizan por responder a estímulos realizados por personas para interactuar con ellos.
Sociables	

**CONTINÚA** 



Son aquellos que mediante la interacción social con las personas pueden aprender en términos sociales y cognitivos.

---

Fuente: (Koro, 2017)

#### d. Robots Sociales para Terapia

En la actualidad existen distintos robots sociales usados en terapias como por ejemplo el robot terapéutico llamado “Paro” que cumple con la función de compañía e interacción social para adultos mayores con diferentes niveles de demencia, éste se encuentra disponible en el mercado desde 2005 en Japón, y en Estados Unidos y Europa desde el 2009. (Sabanovic, Bennett, Chang, & Huber, 2013) En la Figura 4 se muestra el robot terapéutico Paro.



**Figura 4.** Robot terapéutico Paro

Fuente: (Saleh, 2019)

El robot Kaspar es un robot humanoide de tamaño infantil diseñado con el fin de ser un compañero social que ayude a mejorar la vida de los niños con autismo y otros problemas de comunicación interactuando y comportándose de la manera que un niño lo haría. La principal diferencia de este robot con otros que tienen aspecto similar al de un ser humano con distintos grados de libertad y expresiones es que está enfocado en ser minimalista tanto en sus expresiones como en sus movimientos. Se siguen realizando diversos estudios de investigación

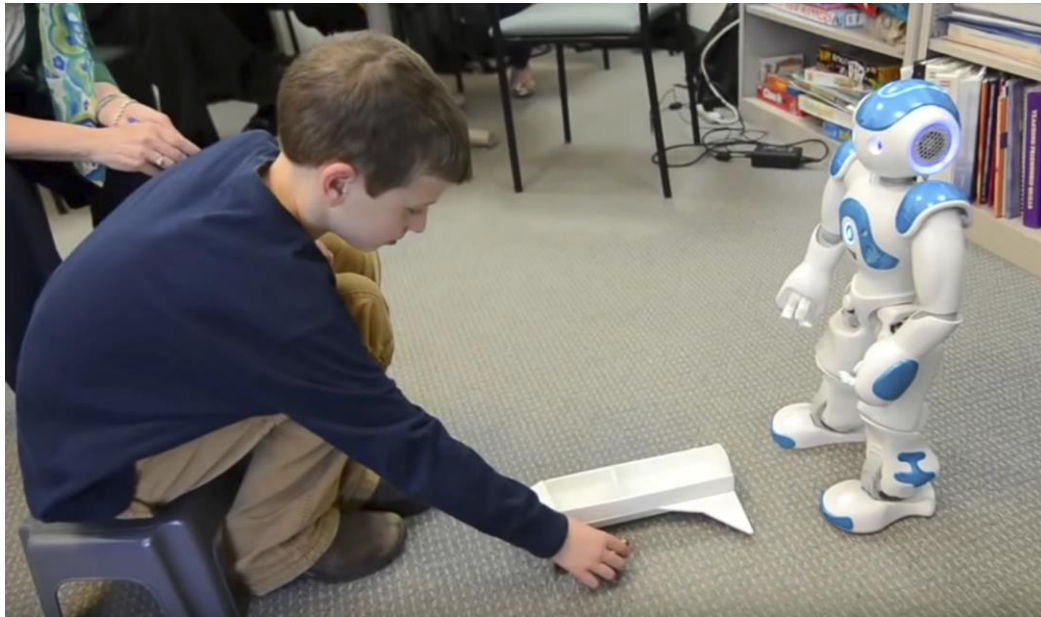
en escuelas y hogares con el fin de desarrollar nuevas tecnologías que permita al robot ser más autónoma. (Dautenhahn, y otros, 2009) En la Figura 5 se muestra el robot minimalista Kaspar.



**Figura 5.** Robot minimalista Kaspar

Fuente: (Dautenhahn, y otros, 2009)

El robot NAO es un robot comercial de forma humana con el cual trabajan científicos e investigadores alrededor del mundo, fue creado en el 2008 y desde ahí se lo ha aplicado en el área de educación e investigación. Actualmente tiene gran aplicación como un compañero social y una herramienta tecnológica de aprendizaje dentro del aula, también tiene como objetivo el trabajo en la rehabilitación de niños autistas. (Miskam, y otros, 2014) En la Figura 6 se muestra el robot NAO aplicado a terapia.



**Figura 6.** Robot NAO

Fuente: (Troncoso, 2017)

### **2.3 Procesamiento de imágenes con Kinect**

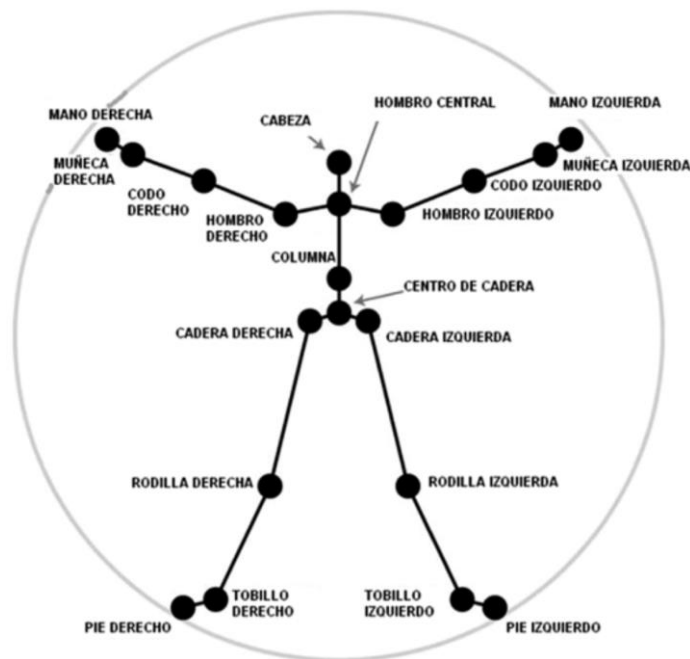
El dispositivo Kinect de Microsoft posee diferentes sensores que ayudan al procesamiento de imágenes, los cuales son: sensor de profundidad, cámara RGB, matriz de cuatro micrófonos. Con estos sensores se puede obtener el movimiento 3D de todo el cuerpo humano, permite también el reconocimiento facial y de voz. También posee un servomotor que permite el correcto posicionamiento de la cámara. En la Figura 7 se muestra el Kinect (Posada, Villanueva, Castillo, & Molina, 2013)



**Figura 7.** Kinect de Microsoft  
Fuente: (Microsoft, 2019)

Este sensor actúa como un sonar en el cual se conoce el tiempo de salida y de llegada del haz de luz que se refleja en el objeto, una vez conocida la velocidad absoluta de la luz permite obtener la distancia a la cual se encuentra el objeto, siendo capaz de distinguir la distancia con diferencia de un centímetro. (Monsalve & Ladino, 2016)

Una vez determinada la distancia de cada pixel de la imagen, Kinect ejecuta una serie de filtros para determinar si los que se encuentra en la imagen es una persona o no. El sistema tiene pregrabado de que una persona posee una cabeza, dos piernas y dos brazos; esto permite diferenciar del resto de objetos que se encuentran en la imagen. Con estos datos se ordena y convierte las partes del cuerpo en un esqueleto a 30fps. En la Figura 8 se muestra los puntos que forman el esqueleto en la imagen reconocida por Kinect. (Monsalve & Ladino, 2016)



**Figura 8.** Puntos de articulaciones por Kinect  
Fuente: (Posada, Villanueva, Castillo, & Molina, 2013)

## 2.4 Desarrollo de Aplicaciones Multimedia

Las aplicaciones multimedia combinan diferentes medios de comunicación, entre ellos, texto, imagen, sonido, animación y video, de tal forma que se pueda interactuar con el usuario. (Zepeda & Mendez, 2016) El continuo avance tecnológico y la creciente evolución de dispositivos móviles ha hecho que aumente considerablemente el desarrollo de aplicaciones. Existe gran variedad de programas para desarrollarlas, se puede encontrar software libre y software privativo ya que existe gran variedad de empresas que se dedican a este fin. (Argote, Jiménez, Enríquez, & Ceballos, 2016)

### 2.4.1 Funciones

Debido a que las aplicaciones responden a las necesidades de las personas, estas se enfocan generalmente a las funciones que se muestran en la Tabla 10.

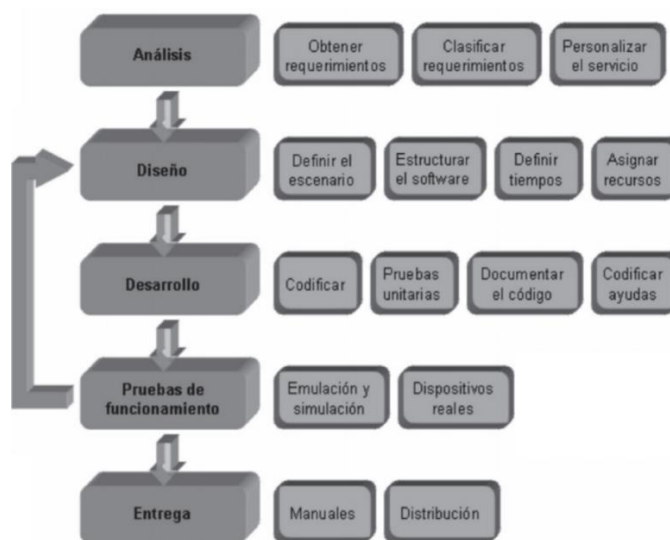
**Tabla 10.**  
*Funciones de aplicaciones multimedia*

Función	Descripción
Orientadas a la formación	Tienen como propósito principal el capacitar, educar y fomentar el aprendizaje.
Orientadas a la comunicación	Favorece la comunicación entre el usuario para la resolución de problemas y organizaciones interpersonales.
Orientadas el entretenimiento	El propósito es permitir interacción y entretenimiento del usuario a través de contextos multimedia como juegos, simulaciones, películas, etc.
Orientadas a la información	Cuentan con una fuente de información que se presenta de manera interactiva y atractiva al usuario para enriquecer su conocimiento.

Fuente: (Zepeda & Mendez, 2016)

## 2.4.2 Metodología

La metodología para el desarrollo de aplicaciones multimedia se basa en la experiencia de investigaciones previas y evaluación de aplicaciones realizadas por (Gasca, Camargo, & Medina, 2014), ésta se centra en cinco fases que se muestran en la Figura 9.



**Figura 9.** Método del desarrollo de aplicaciones multimedia  
Fuente: Modificada de (Gasca, Camargo, & Medina, 2014)

A continuación, se detalla cada una de las fases:

**a. Análisis**

Se organizan los requerimientos del cliente con el fin de aclarar las características deseadas haciendo uso de entrevistas para que de la manera más simple y detallada se conozca el problema y se pueda ofrecer una solución personalizada al cliente.

**b. Diseño**

En esta fase se busca obtener una solución mediante la cual se concilien aspectos técnicos, funcionales y económicos a través de diagramas o esquemas, además a esta fase se debe regresar si el producto requerido no cumple con sus funciones.

**c. Desarrollo**

Se implementa el diseño a través del lenguaje de programación seleccionado, se verifica el correcto funcionamiento de cada elemento de manera individual y en conjunto, también se ejecutan y se verifican los resultados obtenidos para poderse comparar con los resultados deseados.

**d. Pruebas de funcionamiento**

En esta fase se comprueba el funcionamiento de la aplicación en diferentes escenarios y condiciones realizando simulaciones buscando todas las funciones de la aplicación, así como sus posibles fallas en diversos dispositivos reales, para poder calibrar el rendimiento y desempeño.

**e. Entrega**

Se da por finalizada la aplicación y se realiza la entrega del ejecutable al cliente, así como los manuales de funcionamiento.



## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

En este capítulo se seleccionan los parámetros de diseño del robot animatrónico humanoide para el mejoramiento de la terapia de niños y niñas con síndrome del trastorno del espectro autista. Es de suma importancia conocer las necesidades de los usuarios, y en base a estas proponer alternativas de diseño tanto para la parte mecánica como electrónica, así como para el desarrollo de las interfaces del usuario y del terapeuta, con cada propuesta se realiza una evaluación para que de esta manera se puedan seleccionar los componentes a utilizar, el diseño se pueda definir y finalmente corregir si es necesario, estableciéndose la metodología de diseño concurrente. (Riba & Molina, 2006)

#### 3.1 Descripción de necesidades

Las necesidades permiten conocer los requerimientos más importantes por parte de los usuarios, por lo que es de suma importancia aclararlas y en base a estas realizar el diseño del producto considerando también el juicio y experiencia de los diseñadores. Se consultó a profesionales en el área del tratamiento de niños con el trastorno del espectro autista y con esta información se pueden establecer ideas y conceptos con los que se seleccionan los componentes para finalmente transformarlos en un producto que satisfaga a los usuarios. En la Tabla 11 se muestran las necesidades requeridas para el diseño del robot animatrónico humanoide clasificadas por el concepto de construcción, función, control y costo.

**Tabla 11**  
*Descripción de necesidades.*

Concepto	#	Necesidad
	1	Posea movimiento en los brazos.

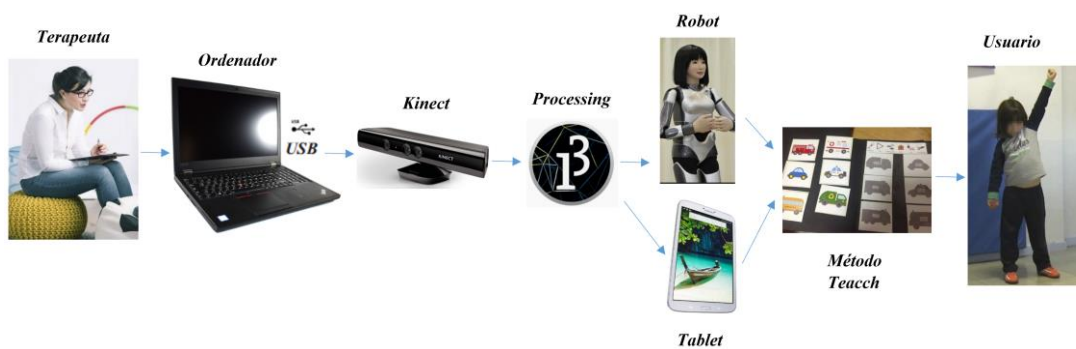
**CONTINÚA** 

Construcción	2	Estético y robusto.
	3	Similitud con el cuerpo humano.
	4	Actividades y emociones por medio de interfaz gráfica.
	5	Interfaz intuitiva para el terapeuta y el usuario.
	6	Inspección visual en todo momento.
Función	7	Base de datos.
	8	Reproducción palabras dichas por el terapeuta.
Control	9	Replicar movimientos de brazos.
Costo	10	Bajo costo.

---

### 3.2 Arquitectura del diseño

Los principales elementos que forman parte del robot humanoide animatrónico para el mejoramiento de la terapia, así como sus interacciones se muestran en la Figura 10. Se puede apreciar que el terapeuta es el que controla los movimientos del robot humanoide animatrónico a través del ordenador, el sensor Kinect captura la imagen y se la envía al ordenador para posteriormente procesar la imagen con ayuda del software Processing, el usuario puede interactuar con el robot humanoide animatrónico y con la Tablet, la cual contará con aplicaciones multimedia con el método Teacch para mejorar la terapia.



**Figura 10.** Arquitectura del diseño

Con esta información se puede crear una arquitectura modular del producto para que permita el desarrollo del proyecto sin que altere a otros componentes en los diferentes segmentos. (Ulrich & Eppinger, 2013) En la Tabla 12 se muestra la arquitectura modular con sus respectivas funciones.

**Tabla 12.**  
*Arquitectura modular*

#	Módulo	Funciones
1	Estructura	Contener los elementos e interactuar con el usuario.
2	Movimiento	Captar el movimiento de los brazos.
3	Control	Controlar los módulos.
4	Eléctrico y electrónico	Adquirir y enviar señales desde y hacia el módulo de control.
5	Aplicación Multimedia	Desarrollar aplicaciones multimedia para la terapia.
6	Suministro de energía	Suministrar energía eléctrica a cada componente.

### 3.3 Definición y selección de alternativas de diseño

Cada alternativa es seleccionada mediante el método de criterios ponderados, ya que se obtiene una comparación cuantitativa de los componentes que se toman en cuenta, mediante la ponderación de los factores que indica el diseñador o investigador. (Baca Urbina, 2013) Para

el presente proyecto se definen las alternativas de diseño según los módulos mencionados en la Tabla 12.

### **3.3.1 Módulo 1: Estructura**

Este módulo se refiere a la parte física del robot animatrónico humanoide enfocándose en los criterios mencionados anteriormente. Para este módulo se consideran técnicas de manufactura para la estructura del cuerpo, de los brazos y del entorno.

#### **a. Técnicas de manufactura**

Las principales técnicas de manufactura requeridas para este proyecto se muestran como alternativas a continuación:

- **Moldeo por inyección de plásticos**

Es una técnica conocida para la fabricación de artículos de plástico, se usa en industrias automotriz, aeronáutica y aeroespacial. Se considera una técnica importante debido a la versatilidad de piezas, el tiempo de fabricación, la facilidad de producción, entre otros factores. Consiste en inyectar un polímero fundido por un orificio de un molde previamente elaborado, seguido se solidifica y contrae el polímero comenzando a cristalizarse en polímeros semi cristalinos para finalmente sacar la pieza de la cavidad. (López, y otros, 2018)

- **Moldeo por fibra de vidrio**

Consiste en separar láminas en fibra de vidrio con la forma del molde, seguido se las coloca en el molde utilizando cobalto, se retira el molde dejando únicamente la fibra de vidrio, se espera hasta que seque para luego lijar cualquier imperfección y poder pintar el producto y finalmente lacarlo. (Gómez, 2010) Los moldes que se utilizan suelen ser costosos, sin embargo,

el moldeo por fibra de vidrio existe ampliamente en el mercado para la generación de maniqués, por lo que facilitaría la adquisición de un molde.

- **Impresión 3D**

Es una tecnología enfocada a la manufactura ya que se puede imprimir objetos muy complejos y con gran detalle elaborados previamente en un software, las impresoras en 3D pueden ser de diferentes tipos según la tecnología que utilicen, ya sea por deposición fundida, o láser. (Quemada, Alcaraz, Ruíz, & Rodríguez, 2017) Consiste en extruir polímeros por medio de una técnica conocida como modelación por deposición en fundido, se trata de pasar el material por el husillo mediante el calentamiento continuo del mismo hasta que quede fundido en su totalidad. (Cepeda, Rubio, Farías, & Sáenz, 2018)

**b. Selección de la técnica de manufactura para la estructura del cuerpo**

Los criterios de evaluación y ponderación para escoger la técnica de manufactura se detallan en la Tabla 13.

**Tabla 13.**  
*Ponderación de criterios de evaluación para técnica de manufactura del cuerpo.*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Robustez</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
Costo	-	0.5	0	1.5	0.25
Accesibilidad	0.5	-	1	2.5	0.42
Robustez	1	0	-	2	0.33
			Suma	6	1

- Solución A: Moldeo por inyección de plásticos.
- Solución B: Moldeo por fibra de vidrio.
- Solución C: Impresión 3D.

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.**  
*Ponderación de costo para técnica de manufactura.*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	1	3	0.5
Solución C	1	0	-	2	0.33
			Suma	6	1

En la Tabla 15 se realiza la valoración del criterio de accesibilidad para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura.

**Tabla 15.**  
*Ponderación de accesibilidad para técnica de manufactura.*

Accesibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0.5	1.5	0.25
Solución B	1	-	1	3	0.50
Solución C	0.5	0	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

En la Tabla 16 se realiza la valoración del criterio de robustez para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura.

**Tabla 16.**  
*Ponderación de robustez para selección de técnica de manufactura.*

Robustez	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.42
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.42
Solución C	0	0	-	1	0.16
			Suma	6	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación se es el moldeo por fibra de vidrio y se muestra en la Tabla 17. Esta técnica de manufactura tiene un bajo costo debido a la accesibilidad de moldes que existen en el mercado, también cabe mencionar que se pueden afinar detalles de la forma humana con gran precisión en comparación con otras técnicas y esto es importante para el presente proyecto.

**Tabla 17**  
*Conclusión de alternativa a la técnica de manufactura.*

	Costo	Accesibilidad	Robustez	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.04	0.11	0.14	0.39	2
Solución B	0.21	0.21	0.14	0.56	1
Solución C	0.11	0.11	0.05	0.27	3

Las propiedades de la fibra de vidrio (Tipo E) para el análisis mecánico se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18.**  
*Propiedades de la fibra de vidrio tipo E.*

Propiedad	Valor	Unidades (SI)
Volumen atómico (promedio)	0.0088	$m^3 / kmol$
Densidad de masa	2.55	$Mg/m^3$
Contenido energético	100	$MJ/kg$
Módulo Bulk	43	$GPa$
Esfuerzo de compresión	4000	$MPa$
Ductilidad	0.026	
Límite elástico	32	$MPa$
Límite de resistencia	2970	$MPa$
Tenacidad a la fractura	0.5	$MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}$
Dureza	3000	$MPa$
Coefficiente de pérdida	1e-005	
Módulo de ruptura	3300	$MPa$
Coefficiente de Poisson	0.21	
Módulo de corte	30	$GPa$
Resistencia a la tracción	1950	$MPa$
Módulo de Young	72	$GPa$

CONTINÚA 

Temperatura del vidrio	820	$K$
Temperatura máxima de servicio	620	$K$
Calor específico	800	$J / kg \cdot K$
Conductividad térmica	1.2	$W / m \cdot K$
Expansión térmica	4.9	$10^{-6} / K$
Potencial de ruptura	15	$MV / m$
Constante dieléctrica	6.13	
Resistividad	$1e + 022$	$10^{-6} / ohm \cdot m$

Fuente: (AZOM, 2001)

### c. Selección de la técnica de manufactura para la estructura de los brazos

Los criterios de evaluación y ponderación para escoger la técnica de manufactura para la estructura de los brazos se detallan en la Tabla 19.

**Tabla 19.**

*Ponderación de criterios de evaluación para técnica de manufactura de los brazos.*

Criterio	Costo	Accesibilidad	Robustez	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0	1	2	0.33
Accesibilidad	1	-	0.5	2.5	0.42
Robustez	0	0.5	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

- Solución A: Moldeo por inyección de plásticos.
- Solución B: Moldeo por fibra de vidrio.
- Solución C: Impresión 3D.

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura para los brazos se muestra en la Tabla 20 Tabla 14.

**Tabla 20.**

*Ponderación de costo para técnica de manufactura de los brazos.*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25

CONTINÚA 



Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

En la Tabla 15 se realiza la valoración del criterio de accesibilidad para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura de los brazos.

**Tabla 21.**

*Ponderación de accesibilidad para técnica de manufactura de los brazos.*

Accesibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

En la Tabla 22 se realiza la valoración del criterio de robustez para evaluar las posibles soluciones de las técnicas de manufactura de los brazos.

**Tabla 22.**

*Ponderación de robustez para selección de técnica de manufactura de los brazos.*

Robustez	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0.5	1.5	0.25
Solución C	0	0.5	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación es la impresión 3D y se muestra en la Tabla 23. Esta técnica de manufactura tiene un bajo costo debido a la accesibilidad que posee hoy en día, esta técnica facilita realizar cualquier corrección en el diseño y a diferencia del cuerpo, los eslabones que componen los brazos no requieren de una gran precisión.

**Tabla 23.**  
*Conclusión de alternativa a la técnica de manufactura de los brazos.*

	Costo	Accesibilidad	Robustez	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.08	0.11	0.13	0.32	2
Solución B	0.08	0.11	0.06	0.25	3
Solución C	0.17	0.22	0.06	0.45	1

Las propiedades del material de impresión 3D, ácido poli láctico (PLA), se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24.**  
*Propiedades del PLA.*

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	1210 – 1250	$kg/m^3$
Módulo de Young	3.45 – 3.83	Gpa
Módulo de flexión	2.3 – 4.9	Gpa
Límite Elástico	48 – 60	Mpa
Resistencia a tracción	48 – 60	Mpa
Resistencia a compresión	48 - 60	Mpa
Elongación	5 – 7	%
Dureza Vickers	14 - 18	HV
Temperatura de fusión	160 - 177	°C
Temperatura de transición vítrea	56 - 58	°C
Temperatura máxima de servicio	70 - 80	°C
Calor específico	$1.18 \times 10^3$ - $1.21 \times 10^3$	$J / kg \cdot ^\circ C$

Fuente: (Del Medico)

#### d. Entorno

Este apartado hace referencia a un entorno en el que pueda interactuar el usuario con el terapeuta de manera directa con el robot, así como contener los elementos que forman parte del robot animatrónico humanoide, facilitando la implementación. Por motivos de costo y estética se lo realiza en madera.

### 3.3.2 Módulo 2: Movimiento

Este módulo está compuesto por el dispositivo que capture el movimiento de los brazos, éste se encarga de enviar la posición espacial de cada brazo, para transferirla en forma de datos y posteriormente ser analizada y procesada.

#### a. Características de los dispositivos de captura de movimiento

En la Tabla 25 se presentan tres alternativas de dispositivos de captura de movimiento de brazos con sus características.

**Tabla 25.**  
*Características de dispositivos de captura de movimiento de brazos.*

Kinect	Leap Motion	Myo
Cuenta con una cámara RGB (640X480), un sensor de profundidad, un micrófono, un procesador que ejecuta algoritmos para capturar movimiento corporal.	Permite el control de diferentes dispositivos. Consta de un par de cámaras estéreo infrarrojas con iluminación LED. Reconocimiento de manos, dedos y brazos.	Permite el control de diferentes dispositivos. Reconoce gestos, movimientos de un brazo. Se adapta al brazo. Se basa en sensores de tipo electromiográficos.

Fuente: (López J. , 2016)

#### b. Selección de dispositivo de captura de movimiento de mano.

En la Tabla 26 se detalla los criterios de evaluación y ponderación para seleccionar el dispositivo de captura de movimiento de los brazos.

**Tabla 26**  
*Ponderación de criterios de evaluación del dispositivo de captura de movimiento.*

Criterio	Costo	Implementación	Disponibilidad	$\sum+1$	Ponderación
Costo	-	0	0.5	1.5	0.25
Implementación	1	-	1	3	0.50
Disponibilidad	0.5	0	-	1.5	0.25

**CONTINÚA** 

Suma	6	1
------	---	---

---

- Solución A: Kinect
- Solución B: Leap Motion
- Solución C: Myo

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones del dispositivo para capturar el movimiento de los brazos se muestra en la Tabla 27/Tabla 14.

**Tabla 27.**

*Ponderación de costo para dispositivo que capture movimiento de los brazos.*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

En la Tabla 28 se realiza la valoración del criterio de implementación para evaluar las posibles soluciones del dispositivo de captura de movimiento de los brazos.

**Tabla 28.**

*Ponderación de implementación para dispositivo que capture movimiento de los brazos.*

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.42
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.42
Solución C	0	0	-	1	0.16
			Suma	6	1

En la Tabla 29 se realiza la valoración del criterio de disponibilidad para evaluar las posibles soluciones del dispositivo para capturar movimiento de los brazos.

**Tabla 29.**

*Ponderación de disponibilidad para dispositivo que capture movimiento de los brazos.*

Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.42
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.42
Solución C	0	0	-	1	0.16
			Suma	6	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación es el dispositivo Kinect y se muestra en la Tabla 30.

**Tabla 30.**

*Conclusión de alternativa para dispositivo que capture movimiento de los brazos.*

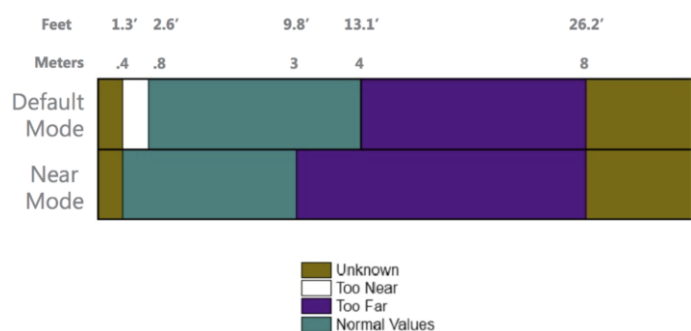
	Costo	Implementación	Disponibilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.13	0.21	0.11	0.45	1
Solución B	0.08	0.21	0.11	0.40	3
Solución C	0.04	0.08	0.04	0.16	2

El dispositivo Kinect permite la detección de todo el cuerpo humano, entre sus principales características es la facilidad del procesamiento de imagen en función del cuerpo humano, con la cámara de profundidad ayuda a determinar la posición de los brazos en el espacio de manera más eficiente, en la Figura 11 se muestra el dispositivo Kinect.

**Figura 11.** Kinect.

Fuente: (Pardo, 2010)

La distancia a la que opera el dispositivo en función del reconocimiento del esqueleto del cuerpo humano se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Distancia para el dispositivo Kinect

Fuente: (Somrak, 2018)

Hay que mencionar que la conexión al ordenador se la realiza por USB. Para instalar el dispositivo Kinect en Windows se necesitan los requerimientos indicados en la Tabla 31.

**Tabla 31.**

*Requerimientos mínimos del sistema para Kinect.*

Requisitos mínimos del sistema	
Sistema Operativo	Windows® 8.1 de 64 bits
CPU	Procesador de 2.4 GHz
Tarjeta de vídeo	Intel® HD Graphics 4000
Disco duro	Mínimo espacio 5GB
RAM	4 GB
Puertos USB	USB 2.0

Fuente: (Pérez A. , 2012)

### 3.3.3 Módulo 3: Control

Este módulo consta de un software de control, el cual es responsable de procesar toda la información de los otros módulos, es necesario considerar que el control será realizado por el terapeuta, por lo que se necesita que posea una interfaz gráfica. Para este proyecto se consideran: Processing y Eclipse.

#### a. Características de Processing

Es un software de código abierto que fue creado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en el 2001 por Casey Reas y Ben Fry. Se basa en Java y es bastante simple debido

a que se centra más en fundamentos propios de la programación y menos en la sintaxis del lenguaje. (Mena, López, & Zepeda, 2015) Entre sus principales características están:

- Se puede aplicar a procesamiento de imágenes.
- Usa una excelente interfaz gráfica.
- Los programas realizados se ejecutan rápidamente.
- Posee un lenguaje simplificado en el que no es necesario conocer a profundidad programación orientada a objetos.

#### **b. Características de Eclipse**

Es una plataforma completa de programación, en donde se puede realizar diferentes elementos como sitios web, aplicaciones en Java o programas en C++. Hay que mencionar que posee múltiples herramientas y librerías estándar de Java que ayuda a la creación applets y aplicaciones. (Figueredo, Ortíz, Martínez, & Palomino, 2018) Entre sus principales características están:

- Se trabaja de manera modular, facilitando el entorno de desarrollo.
- Posee un potente depurador de códigos que ayuda a mejorar el código de forma intuitiva.
- Posee gran cantidad de plugins adecuados para cada necesidad.
- Es uno de los entornos más utilizados por desarrolladores de Java.

#### **c. Selección de software para el control**

En la Tabla 32Tabla 26 se detalla los criterios de evaluación y ponderación para seleccionar el software de control.

**Tabla 32**  
*Ponderación de criterios de evaluación del software de control.*

Criterio	Entorno	Programación	Información	$\Sigma+1$	Ponderación
Entorno	-	1	1	3	0.50
Programación	0	-	0.5	1.5	0.25
Información	0	0.5	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

- Solución A: Processing
- Solución B: Eclipse

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones del software de control se muestra en la Tabla 33Tabla 14.

**Tabla 33.**  
*Ponderación de entorno para el software de control.*

Entorno	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	3	1

En la Tabla 34 se realiza la valoración del criterio de programación para evaluar las posibles soluciones del software de control.

**Tabla 34.**  
*Ponderación de programación para el software de control.*

Programación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	3	1



En la Tabla 35 se realiza la valoración del criterio de información para evaluar las posibles soluciones del software de control.

**Tabla 35.**  
*Ponderación de información para el software de control.*

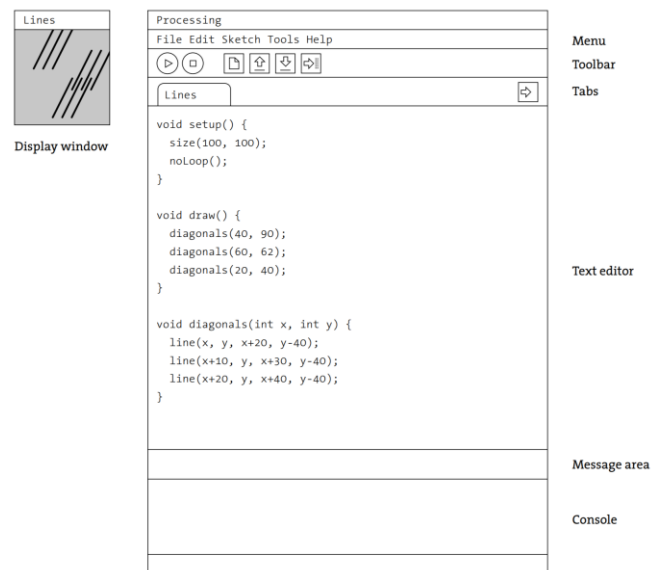
Información	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
		Suma	3	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación es el software Processing y se muestra en la Tabla 36.

**Tabla 36.**  
*Conclusión de alternativa para software de control.*

	Entorno	Programación	Información	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.25	0.13	0.17	0.55	1
Solución B	0.25	0.13	0.08	0.46	2

Processing relaciona los conceptos de software con los principios de forma visual, movimiento e interacción. Posee un entorno de desarrollo y una metodología de enseñanza en un sistema unificado. Es utilizado por estudiantes, artistas profesionales del diseño e investigadores para la creación de prototipos, aprendizaje y producción. Tiene bibliotecas que ayudan en múltiples necesidades como generar sonido, enviar y recibir datos en diferentes formatos, importar archivos en 2D y 3D. (Reas & Fry, 2007) En la Figura 13 se muestra el entorno de desarrollo de Processing.



**Figura 13.** Entorno de desarrollo de Processing  
Fuente. (Reas & Fry, 2007)

### 3.3.4 Módulo 4: Eléctrico y Electrónico

Este módulo consta de las tarjetas de control, los actuadores y el dispositivo que permita la transmisión de voz. Las tarjetas se encargan de recolectar datos y enviarlos a los actuadores, los actuadores serán los que permitan el movimiento de los brazos y el dispositivo es el encargado de transformar el texto a voz para luego reproducirlo en un parlante.

#### a. Características de tarjetas de control

Para este proyecto se consideran dos opciones de tarjeta de control, es necesario que la tarjeta sea compatible con el software de control, por lo que las opciones son Arduino y Raspberry.

Las principales características de las tarjetas Arduino obtenidas de (Céspedes, 2017) son:

- Poseen puerto USB.
- Tienen pines digitales y analógicos de entrada y de salida.

- Algunos pines digitales poseen PWM (modulación por ancho de pulso).
- Tienen comunicación serial, comunicación I2C, comunicación SPI.
- Se alimenta entre 3.3 y 5 V.
- Poseen su propio software para edición, compilación y transferencia a la tarjeta.

Entre las principales características de las tarjetas Raspberry obtenidas de (González, 2015) se encuentran:

- Es un computador de placa única.
- Poseen puertos USB, memoria RAM, Ethernet, HDMI.
- Tienen pines de entrada/salida de propósito general.
- Se alimenta con 5V.
- Posee su propio sistema operativo.

## b. Selección de tarjeta de control

En la Tabla 37 se detalla los criterios de evaluación para seleccionar la tarjeta de control, con su respectiva ponderación.

**Tabla 37.**

*Ponderación de criterios de evaluación para seleccionar la tarjeta de control.*

Criterio	Costo	Programación	Implementación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	1	0	2	0.33
Programación	0	-	0.5	1.5	0.25
Implementación	1	0.5	-	2.5	0.42
			Suma	6	1

- Solución A: Arduino
- Solución B: Raspberry

En la Tabla 38 se realiza la valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones de la tarjeta de control.

**Tabla 38**  
*Ponderación de costo para tarjetas de control.*

Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
		Suma	3	1

En la Tabla 39 se realiza la valoración del criterio de programación para evaluar las posibles soluciones de la tarjeta de control.

**Tabla 39**  
*Ponderación de programación de tarjetas de control.*

Programación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	3	1

En la Tabla 40 se realiza la valoración del criterio de implementación para evaluar las posibles soluciones de la tarjeta de control.

**Tabla 40**  
*Ponderación de implementación de tarjeta de control.*

Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
			3	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación es la tarjeta Arduino y se muestra en la Tabla 41.

**Tabla 41**  
*Selección de tarjeta de control.*

	Costo	Programación	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.22	0.13	0.28	0.63	1
Solución B	0.11	0.13	0.14	0.38	2

Arduino es una placa de hardware de código abierto, que tiene gran acogida desde el año 2005, posee extensa documentación técnica, así como libros y revistas con bastante información. Está construida en base al microcontrolador AVR, las principales partes del microcontrolador son: memoria flash (no volátil), memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada/salida digitales, puertos de entrada/salida análogos, salida analógica PWM, temporizadores internos, comunicación (serial, I2C, SPI) y la velocidad va de 8 a 32MHz. En la Tabla 42 se muestran los modelos más utilizados.

**Tabla 42.**  
*Modelos de Arduino y sus características*

Características	Nano	UNO	Mega
Microcontrolador	ATmega328	ATMEGA328P	ATMEGA2560
Núcleo	AVR	AVR	AVR
Resolución-Velocidad.	8bit-16MHz	8bit-16MHz	8bit-16MHz
Flash/ram	32k/2k	32k/2k	256k/8k
Pines totales	14	32	86
ADC	18	6	16
E/S digital	14	14	54

**CONTINÚA** 

PWM	6	6	15
Formato	DIP	DIP	SMD
Comunicación UART	1	1	4

---

Fuente: (Perales, Barrero, & Toral, 2016)

En el presente proyecto se utiliza la tarjeta de control Arduino UNO por sus características técnicas y su costo, ésta es la encargada de recibir y enviar datos para el movimiento de los actuadores.

### c. Características de actuadores

Los actuadores son los encargados de realizar los movimientos del robot animatrónico humanoide. Hay diversos tipos de actuadores, estos pueden ser hidráulicos, neumáticos o eléctricos dependiendo del origen de la fuerza motriz. Para el presente proyecto se van a considerar los actuadores eléctricos de corriente continua debido al uso y costo del robot animatrónico humanoide, por lo que las alternativas son servomotores y motores paso a paso.

Las principales características de los servomotores según (Cruz, 2014) son:

- Se puede conocer y controlar la posición con velocidad deseada.
- Mayor precisión en desplazamientos cortos.
- Alto factor de calidad.
- Mantiene el torque a altas velocidades.
- Alta eficiencia en movimiento, posicionamiento y precisión.
- Se los selecciona según el torque.

Las principales características de los motores paso a paso obtenidas de (Jennings, 2002) son:

- Buen torque a baja velocidad.
- Precio bajo y efectivo diseño.
- Alta confiabilidad.
- No requieren mantenimiento.
- No requiere de dispositivos de retroalimentación.

#### d. Selección de actuadores

En la Tabla 43 se detalla los criterios de evaluación para seleccionar los actuadores, con su respectiva ponderación.

**Tabla 43.**

*Ponderación de criterios de evaluación para seleccionar los actuadores.*

Criterio	Costo	Control	Implementación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0	0.5	1.5	0.25
Control	1	-	1	3	0.5
Implementación	0.5	0	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

- Solución A: Servomotores
- Solución B: Motores paso a paso

En la Tabla 44 se realiza la valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones de los actuadores.

**Tabla 44.**

*Ponderación de costo para actuadores.*

Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.33
Solución B	1	-	2	0.67
		Suma	3	1

En la Tabla 45 se realiza la valoración del criterio de control para evaluar las posibles soluciones de los actuadores.

**Tabla 45.**  
*Ponderación de control de actuadores.*

Control	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
		Suma	3	1

En la Tabla 46 se realiza la valoración del criterio de implementación para evaluar las posibles soluciones de los actuadores.

**Tabla 46.**  
*Ponderación de implementación de actuadores.*

Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
			3	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación son los actuadores servomotores como se muestra en la Tabla 47.

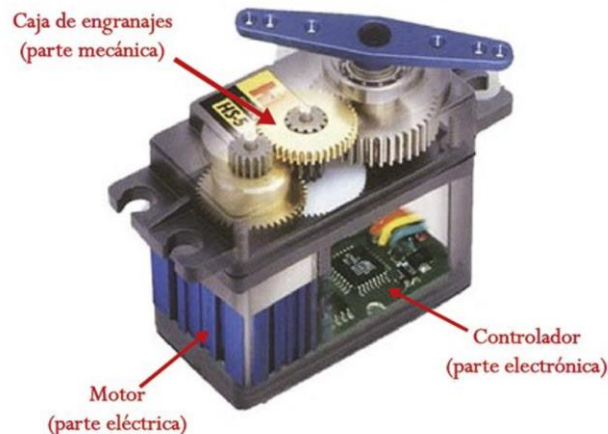
**Tabla 47.**  
*Selección de actuadores.*

	Costo	Control	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.08	0.33	0.17	0.58	1
Solución B	0.17	0.17	0.08	0.42	2

Los servomotores son actuadores que se usan ampliamente en sistemas de control de posición y velocidad. Son compactos sin variar el torque, lo que permite que sean



mecánicamente ventajosos, ya que se reduce la inercia del rotor, alcanzando desplazamientos rápidos y precisos. Tienen un alto factor de calidad en sus embobinados, y de esta manera el motor evita brincos entre campos. En la Figura 14 se muestra un servomotor.



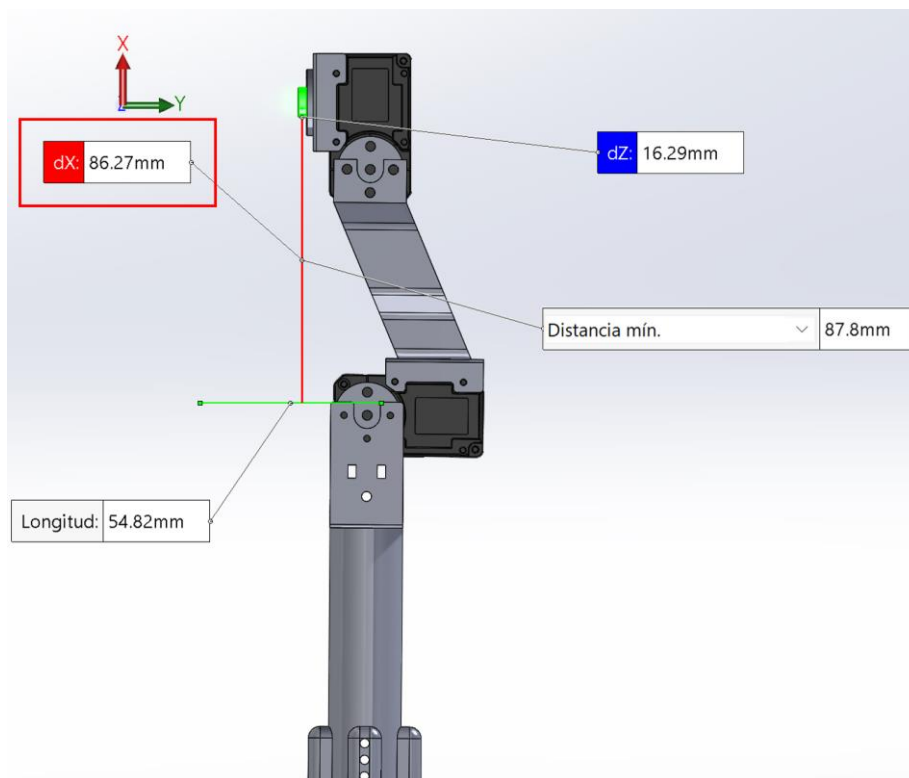
**Figura 14.** Servomotor

Fuente: (García A. , 2016)

#### **e. Dimensionamiento de los actuadores**

Para la selección de los servomotores a utilizar es necesario considerar el máximo torque requerido, el cálculo teórico se lo realiza con ayuda de un software CAD que permite obtener las propiedades físicas como la masa y el centro de masa. Este cálculo servirá para ambos brazos.

El torque teórico se obtiene considerando la máxima carga que soportará el brazo, es decir, el peso de la estructura, los servomotores y el recubrimiento, así como de la distancia del punto de giro al centro de masa. Ver Figura 15.



**Figura 15.** Centro de masa del brazo.

Con la ecuación (3.3) se procede a calcular el torque teórico:

$$Tt = F \cdot d \quad (3.3)$$

$$Tt = m \cdot a \cdot d$$

$$Tt = \left(0.300kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot 8.627cm$$

$$Tt = 25.389 N \cdot cm$$

$$Tt = 2.589 kg \cdot cm$$

Donde:

- $Tt$ : es el torque teórico.
- $F$ : es el peso del brazo.
- $m$ : es la masa del brazo.
- $a$ : es la aceleración.

- $d$ : es la longitud desde el punto de giro hacia el centro de masa.

Con la ecuación 3.4 se obtiene el torque comercial de los servomotores para que el dimensionamiento y selección sean correctos.

$$T = \frac{Fact_{seg}}{n(Pérdidas)} Tt \quad (3.4)$$

Dónde:

- $T$ : es el torque comercial que se requiere conocer.
- $Fact_{seg}$ : es el factor de seguridad.
- $n$ : es el rendimiento del actuador.
- $Pérdidas$ : es el valor por pérdidas (transmisión, fricción, etc.).
- $Tt$ : es el torque calculado teóricamente.

Al reemplazar con los valores requeridos, el torque comercial es:

$$T = \frac{2}{0.8(0.5)} Tt$$

$$T = 5 \cdot Tt$$

$$T = 12945 \text{ g} \cdot \text{cm}$$

$$T = 12.945 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con este valor se selecciona el servo de marca Lewansoul LX-16A. Ver Figura 16.



**Figura 16.** Servomotor.

Fuente: (Lewansoul, 2017)

En la Tabla 48 se muestran las características del servomotor seleccionado.

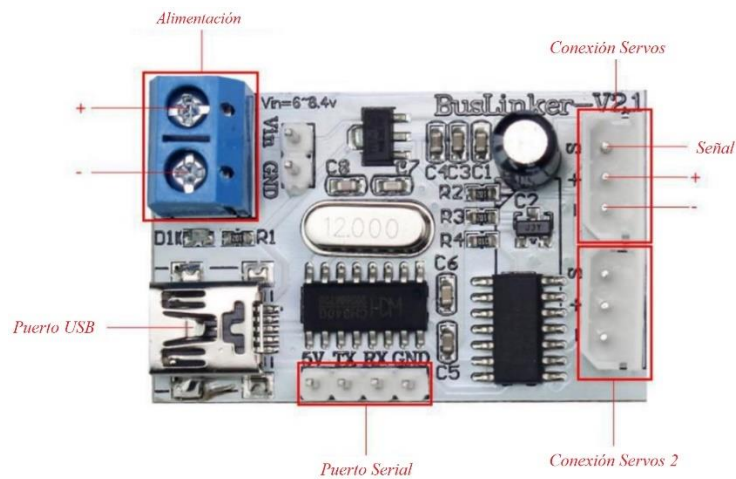
**Tabla 48.**

*Características del servomotor.*

Parámetros	Valor
Peso neto	52g
Tamaño	1.78in · 0.97in · 1.38in
Velocidad rotacional	0.18sec/60° (6V) 0.16sec/60° (7.4V)
Exactitud	0.24°
Torque	15kg · cm(6V) 17kg · cm(7.4)

Fuente: (Lewansoul, 2017)

Estos servomotores poseen comunicación Bus serial entre ellos con la ayuda de la tarjeta de depuración TTL/USB, esta es compatible con la tarjeta de control seleccionada que es Arduino, en la Figura 17 se puede apreciar la tarjeta y sus partes.

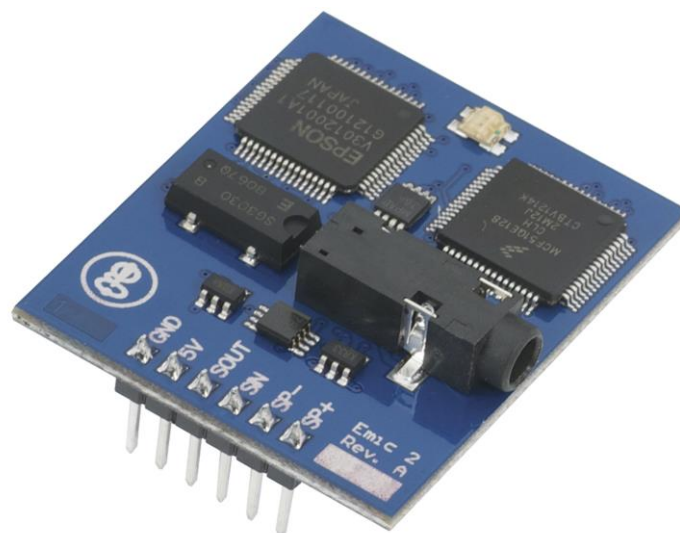


**Figura 17.** Tarjeta de depuración TTL/USB.

Fuente: (Lewansoul, 2017)

#### f. Dispositivo de transmisión de voz

Este dispositivo es el encargado de transformar el texto a voz, lo cual permite la comunicación y envío de expresiones del terapeuta hacia el usuario. Se selecciona el módulo Emic 2 Text-To-Speech mostrado en la Figura 18.



**Figura 18.** Emic 2 Text-To-Speech.

Fuente: (Parallax, 2019)

En la Tabla 49 se pueden apreciar las principales características del módulo Emic 2 Text-to-Speech.

**Tabla 49. Características del módulo de voz**

Número de Pines	6
Alimentación	+5Vcc 30 mA inactivo, 46-220 mA activo (según los parámetros de voz y la carga de salida)
Comunicación	Seria 9600 bps
Dimensiones	3.17 cm x 3.81 cm x 0.94 cm
Temperatura de funcionamiento	-20°C a 70°C
Número de voces	9
Idiomas	Inglés y Español

Fuente: (Parallax, 2019)

### 3.3.5 Módulo 5: Aplicación Multimedia

El módulo Aplicación Móvil se refiere al diseño de la interfaz del usuario mediante el desarrollo de aplicaciones multimedia para la terapia enfocada en el método Teacch. En el presente proyecto se la realiza para el sistema operativo Android y específicamente para la Tablet Samsung Galaxy Tab 3, debido a sus características técnicas y costo. en la Tabla 50 se muestran las principales características de esta.

**Tabla 50.**  
*Características Tablet.*

Sistema Operativo	Android JB 4.2.2
Tamaño	123.8 x 209.8 x 7.4mm
Peso	314g
Resolución	1280 x 800
Tamaño Pantalla	7in
Batería	4450 mAh
Procesador/Velocidad	Dualcore/1.5GHz

Fuente: (Samsung, 2019)

Los programas considerados para la realización de las aplicaciones son Android Studio, Processing para Android, App Inventor.

#### **a. Características de Android Studio**

Es un entorno de desarrollador integrado (IDE) que posee varios elementos integrados que proporcionan un código más amigable, entre sus principales características obtenidas de (Android Developers, 2019) están:

- Posee un sistema de compilación basado en Gradle flexible.
- Posee un emulador rápido con muchas funciones.
- Posee un entorno en el que se puede realizar desarrollos para cualquier dispositivo Android.
- Posee gran cantidad de frameworks y herramientas de prueba.
- Tiene compatibilidad con C++ y NDK.

#### **b. Características de Processing para Android**

Processing es un entorno de programación en el cual se codifica contenido visual de forma simple y rápida, existe un modo en el cual se puede instalar y programar aplicaciones para el sistema operativo Android muy similar al de Processing.

#### **c. Características de App Inventor**

Es un entorno muy intuitivo que permite crear aplicaciones para celulares y tabletas, está enfocado a la creación de tecnología por parte de jóvenes. Sus principales características obtenidas de (MIT App Inventor, 2019) son:

- Posee programación basada en bloques.
- Es software libre.

- Es multiplataforma. (Solo requiere un navegador)
- Tiene limitaciones referentes a la programación.

#### d. Selección de Software

En la Tabla 51Tabla 26 se detalla los criterios de evaluación y ponderación para seleccionar el software de desarrollo de aplicaciones multimedia.

**Tabla 51.**

*Ponderación de criterios de evaluación del software de desarrollo de aplicaciones.*

Criterio	Costo	Programación	Compatibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0.5	0	1.5	0.25
Programación	0.5	-	1	2.5	0.42
Compatibilidad	1	0	-	2	0.33
			Suma	6	1

- Solución A: Android Studio
- Solución B: Processing para Android
- Solución C: App Inventor

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones del software de desarrollo de aplicaciones multimedia se muestra en la Tabla 52Tabla 14.

**Tabla 52.**

*Ponderación de costo para el software de desarrollo de aplicaciones.*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0.5	2	0.34
Solución B	0.5	-		2	0.33
Solución C	0.5	0.5	-	2	0.33
			Suma	6	1



En la Tabla 53 se realiza la valoración del criterio de programación para evaluar las posibles soluciones del software de desarrollo de aplicaciones multimedia.

**Tabla 53.**  
*Ponderación de programación para el software de desarrollo de aplicaciones.*

Programación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.17
		Suma		6	1

En la Tabla 54 se realiza la valoración del criterio de compatibilidad para evaluar las posibles soluciones del software de control.

**Tabla 54.**  
*Ponderación de compatibilidad para software de desarrollo de aplicaciones.*

Compatibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.17
		Suma		6	1

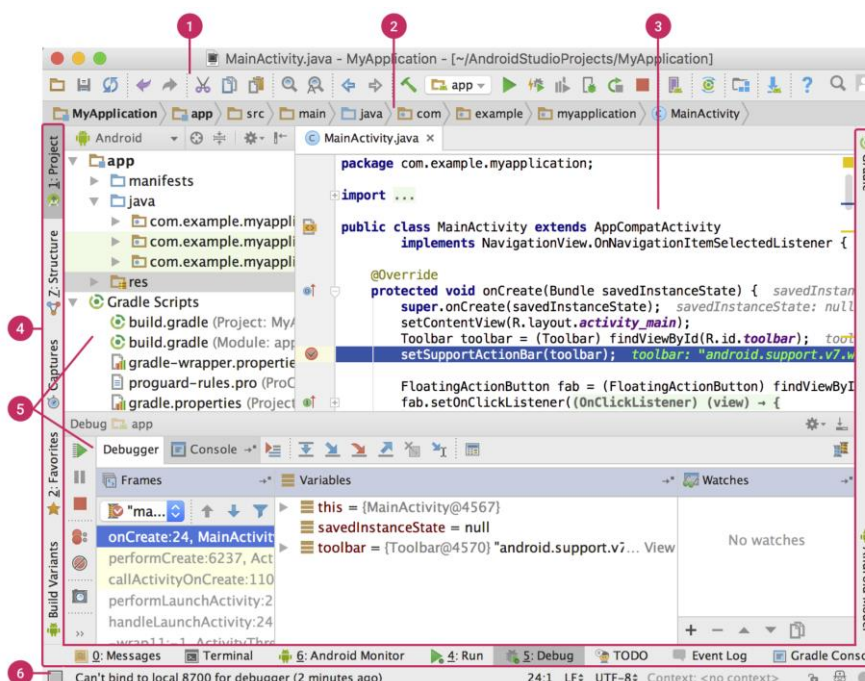
La alternativa que obtuvo mayor ponderación es el software Android Studio y se muestra en la Tabla 55.

**Tabla 55.**  
*Conclusión de alternativa para software de desarrollo de aplicaciones*

	Costo	Programación	Compatibilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.08	0.21	0.17	0.46	1
Solución B	0.08	0.14	0.11	0.33	2
Solución C	0.08	0.07	0.06	0.21	3

Android Studio es el IDE oficial de Android, está creado para crear las apps de una manera eficaz para cualquier dispositivo Android, brinda el menor tiempo de respuesta en codificación y ejecución del flujo de trabajo. Con las compilaciones basadas en Gradle se puede obtener flexibilidad necesaria para crear APK para un dispositivo Android. Posee herramientas GUI que hacen simple los aspectos del desarrollo de aplicaciones. (Android Developers, 2019)

En la Figura 19 se muestra el entorno de Android Studio y seguido se describen sus partes principales.



**Figura 19.** Entorno de Android Studio  
Fuente: (Android Developers, 2019)

1. Barra de herramientas.
2. Barra de navegación.
3. Ventana del editor.
4. Barra de la ventana de herramientas.
5. Ventanas de herramientas.
6. Barra de estado.

### 3.3.6 Módulo 6: Suministro de Energía

El módulo de suministro de energía se encarga de energizar al resto de módulos, se requiere que sea lo más sencillo posible debido a que el manejo del proyecto lo realizará el terapeuta, también debe tener autonomía suficiente para completar las sesiones requeridas. Las opciones para este módulo son: Batería y Transformador de Voltaje.

#### a. Batería

Es un elemento que almacena energía química y la transforma en energía eléctrica, es ampliamente utilizada en diversas aplicaciones debido a su reducido tamaño. Se define a una batería por el voltaje, la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar. Puede ser cargada o de una sola vida dependiendo de su configuración, hay que mencionar que requiere de un cargador especial según la batería. (Lamas, 2001)

#### b. Transformador de Voltaje

Es un circuito en el que se transforma el voltaje AC a voltaje DC para luego reducirlo o aumentarlo según el requerido. La autonomía se ve mejorada debido a la fuente ilimitada que posee, pero se requiere de varios elementos que pueden resultar relativamente costosos.

#### c. Selección del suministro de energía

En la Tabla 56 se detallan los criterios de evaluación y ponderación para seleccionar el suministro de energía.

#### **Tabla 56.**

*Ponderación de criterios de evaluación del suministro de energía.*

Criterio	Costo	Autonomía	Implementación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0	0.5	1.5	0.25
Autonomía	1	-	0.5	2.5	0.42
Implementación	0.5	0.5	-	2	0.33

**CONTINÚA** 

---

Suma	6	1
------	---	---

---

- Solución A: Batería
- Solución B: Transformador de voltaje

La valoración del criterio de costo para evaluar las posibles soluciones del suministro de energía se muestra en la Tabla 57 Tabla 14.

**Tabla 57.**  
*Ponderación de costo para suministro de energía.*

Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
		Suma	3	1

En la Tabla 58 se realiza la valoración del criterio de autonomía para evaluar las posibles soluciones del suministro de energía.

**Tabla 58.**  
*Ponderación de autonomía para suministro de energía.*

Autonomía	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	0.33
Solución B	1	-	2	0.67
		Suma	3	1

En la Tabla 59 se realiza la valoración del criterio de implementación para evaluar las posibles soluciones del suministro de energía.

**Tabla 59.**  
*Ponderación de implementación para suministro de energía.*

Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
----------------	------------	------------	------------	-------------

**CONTINÚA**

Solución A	-	0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	6	1

La alternativa que obtuvo mayor ponderación es el transformador de voltaje y se muestra en la Tabla 60.

**Tabla 60.**  
*Conclusión de alternativa para suministro de energía.*

	Costo	Autonomía	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.17	0.14	0.17	0.48	2
Solución B	0.08	0.28	0.17	0.53	1

El transformador de voltaje requiere de un enchufe de 110 o 220V, un transformador y un reductor de voltaje según la corriente que se requiera. Se selecciona un transformador de 110V AC a 12V DC. (Ver Figura 20)



**Figura 20.** Transformador de Voltaje  
Fuente: (Sunsky, 2019)

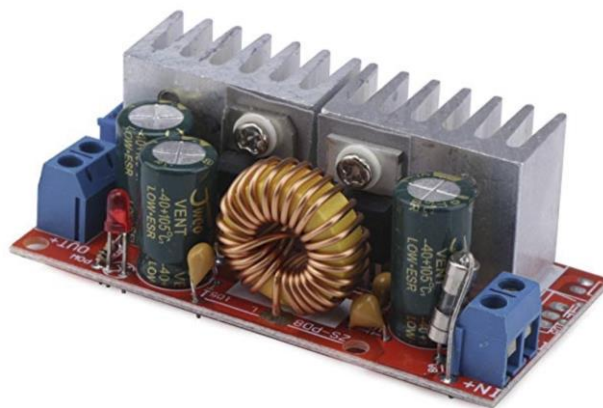
Las principales características técnicas del transformador de voltaje se muestran en la Tabla 61.

**Tabla 61.**  
*Características técnicas del transformador de voltaje.*

Características	Valor
Modelo	S-120-12
Potencia	120W
AC Input	110/220 $\pm$ 15%
DC Output	12V 10A
Protección	IP66

Fuente: (Sunsky, 2019)

Una vez obtenidos los 12V en DC se lo debe reducir para poder alimentar a la tarjeta de depuración de los servomotores (7.4V), esto se lo realiza con un regulador de voltaje reductor. (Ver Figura 21)



**Figura 21.** Reductor DC-DC.  
Fuente: (DEOK, 2019)

Las principales características técnicas del reductor se muestran en la Tabla 62.

**Tabla 62.**  
*Características técnicas del reductor de voltaje.*

Características	Valor
Modelo	ZS-PD8A
Voltaje Entrada	5-40V
Voltaje Salida	1.25-36V
Corriente Salida	8A

**CONTINÚA** 

Frecuencia Operación	180KHz
Tamaño	70mm x 39mm x 31mm

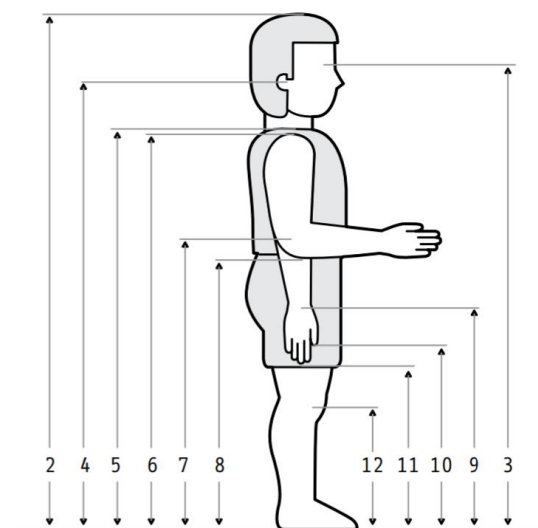
Fuente: (DEOK, 2019)

### 3.4 Diseño mecánico del robot animatrónico humanoide

Para el diseño mecánico del robot animatrónico humanoide es necesario considerar aspectos como: dimensiones, peso, manufacturabilidad, y estética. Como punto de partida se realiza el estudio de las dimensiones de la anatomía de un niño de dos años considerando las medidas antropométricas existentes.

#### 3.4.1 Medidas Antropométricas

Estas medidas son las principales a tomar en cuenta en el diseño del robot animatrónico humanoide debido a que debe ser muy similar a un humano de la edad mencionada. Estas medidas son sustentadas por estudios realizados en diferentes países de Latinoamérica. (Ávila, Prado, & González, 2007) En la Figura 22 y la Tabla 63 se muestran las dimensiones antropométricas en posición de pie.



**Figura 22.** Dimensiones antropométricas de pie

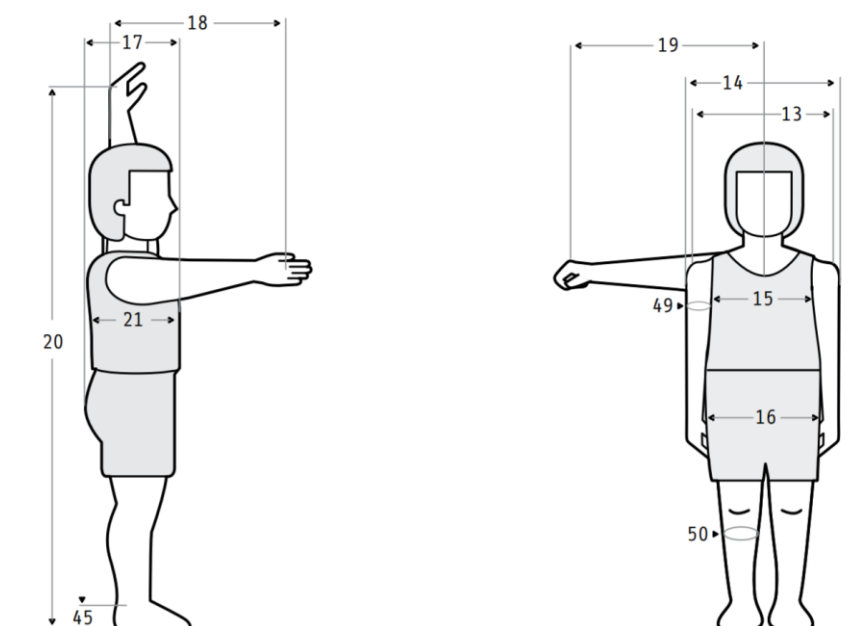
Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

**Tabla 63.**  
*Dimensiones antropométricas de pie.*

Dimensiones en mm	Percentiles			
	$\bar{x}$	5%	50%	95%
1. Peso (Kg)	13.7	10.4	13.6	17
2. Estatura	898	832	897	958
3. Altura ojo	792	735	789	851
4. Altura oído	775	716	769	834
5. Altura vertiente humeral	694	638	694	740
6. Altura hombro	673	610	674	736
7. Altura codo	526	473	525	579
8. Altura codo flexionado	509	461	510	557
9. Altura muñeca	407	362	406	452
10. Altura nudillo	360	319	356	401
11. Altura dedo medio	297	254	297	340
12. Altura rodilla	222	196	222	248

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

Las medidas antropométricas en vista lateral y frontal se muestran en la Figura 23 y la Tabla 64.



**Figura 23.** Dimensiones antropométricas lateral y frontal

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

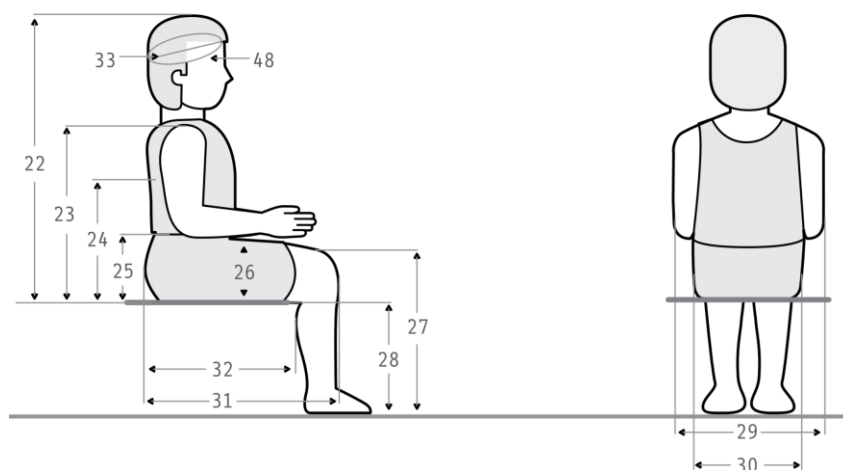


**Tabla 64.**  
*Dimensiones antropométricas lateral y frontal.*

Dimensiones en mm	Percentiles			
	$\bar{x}$	5%	50%	95%
13. Diámetro máx. bideltoides	260	234	259	286
14. Anchura máx. cuerpo	296	255	297	337
15. Diámetro transversal tórax	178	155	176	201
16. Diámetro bitrocantérico	174	141	176	201
17. Profundidad máx. cuerpo	170	149	170	191
18. Alcance brazo frontal	320	284	320	356
19. Alcance brazo lateral	389	354	390	424
20. Alcance máx. vertical	973	874	975	1072
21. Profundidad tórax	138	126	137	150
45. Altura tobillo	38	30	39	46
49. Perímetro brazo	163	138	163	188
50. Perímetro pantorrilla	202	176	202	228

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

En la Figura 24 y la Tabla 65 se muestran las dimensiones antropométricas de un niño de dos años sentado.



**Figura 24.** Dimensiones antropométricas sentado.

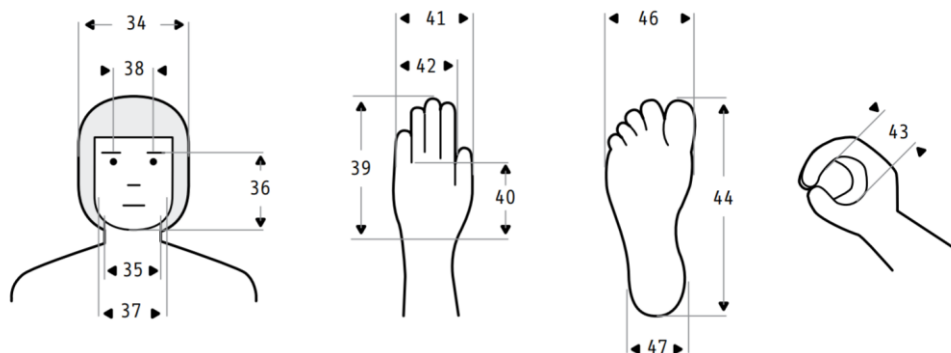
Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

**Tabla 65.**  
*Dimensiones antropométricas del cuerpo.*

Dimensiones en mm	Percentiles			
	$\bar{x}$	5%	50%	95%
22. Altura normal sentado	527	494	526	560
23. Altura hombro sentado	313	283	315	343
24. Altura omóplato	244	216	245	272
25. Altura codo sentado	*	*	*	*
26. Altura máx. muslo	74	62	73	86
27. Altura rodilla sentado	253	222	253	284
28. Altura poplíteo	212	182	213	242
29. Anchura codos	288	245	292	331
30. Anchura cadera sentado	197	171	197	223
31. Longitud nalga-rodilla	277	244	276	310
32. Longitud nalga-poplíteo	231	191	232	271
33. Diámetro a-p cabeza	169	157	169	181
48. Perímetro de la cabeza	491	466	490	516

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

Las dimensiones antropométricas de cabeza, pie y mano se muestran en la



**Figura 25.** Dimensiones antropométricas de cabeza, pie y mano

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

Dimensiones en mm	Percentiles			
	$\bar{x}$	5%	50%	95%
34. Anchura cabeza	136	126	136	146
35. Anchura cuello	73	65	73	81
36. Altura cara	96	85	95	107
37. Anchura cara	106	95	106	118

**CONTINÚA** →

38. Diámetro interpupilar	42	34	42	50
39. Longitud de la mano	102	92	102	112
40. Longitud palma mano	59	51	60	67
41. Anchura de la mano	61	54	61	68
42. Anchura palma mano	50	44	50	55
43. Diámetro empuñadura	22	19	22	25
44. Longitud del pie	144	131	144	157
46. Anchura del pie	61	53	61	69
47. Anchura talón	47	39	46	55

Fuente: (Ávila, Prado, & González, 2007)

### 3.4.2 Diseño del cuerpo

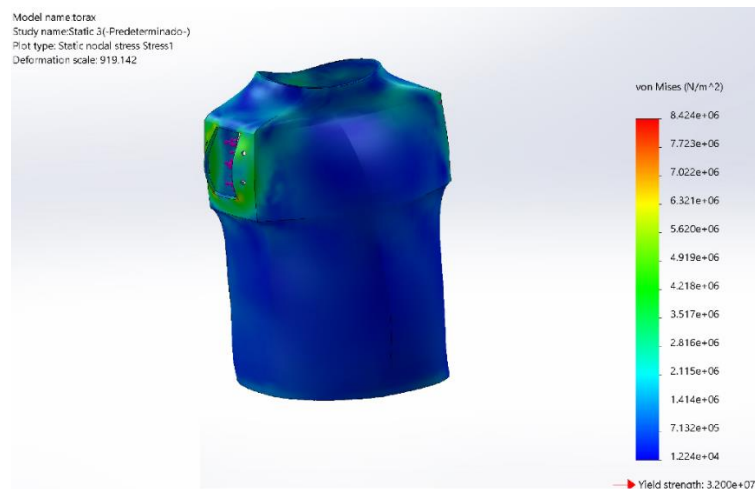
Considerando las dimensiones antropométricas se procede a diseñar con ayuda de un software CAD, cabe mencionar que el diseño debe ser proporcional en cada parte del cuerpo según un niño de dos años. En la Figura 26 se muestra el diseño del cuerpo sin contar con los brazos. El cuerpo es diseñado para construirlo por moldeo de fibra de vidrio, por lo que su estructura es hueca.



**Figura 26.** Diseño del cuerpo.

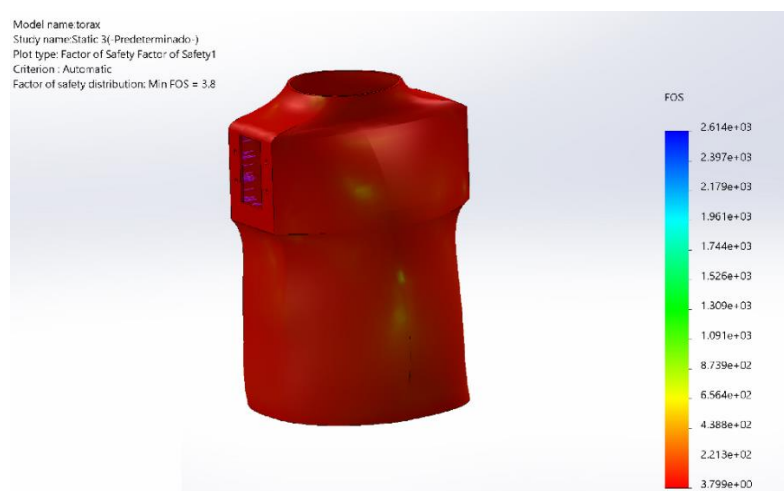
### a. Análisis mecánico del cuerpo

Para el análisis mecánico se considera la parte crítica del cuerpo, en este caso se encuentra en el lugar donde están los brazos, ubicado en la parte superior del tórax, debido a los esfuerzos que generan los movimientos. La fuerza para considerar es todo el peso del brazo, el análisis se lo hace en el tórax con las propiedades indicadas en la Tabla 18.



**Figura 27.** Esfuerzo de Von Mises en el tórax.

En la Figura 27 se observa el análisis realizado, con la conclusión que el diseño es correcto debido a que el máximo esfuerzo es menor al límite elástico de la fibra de vidrio.

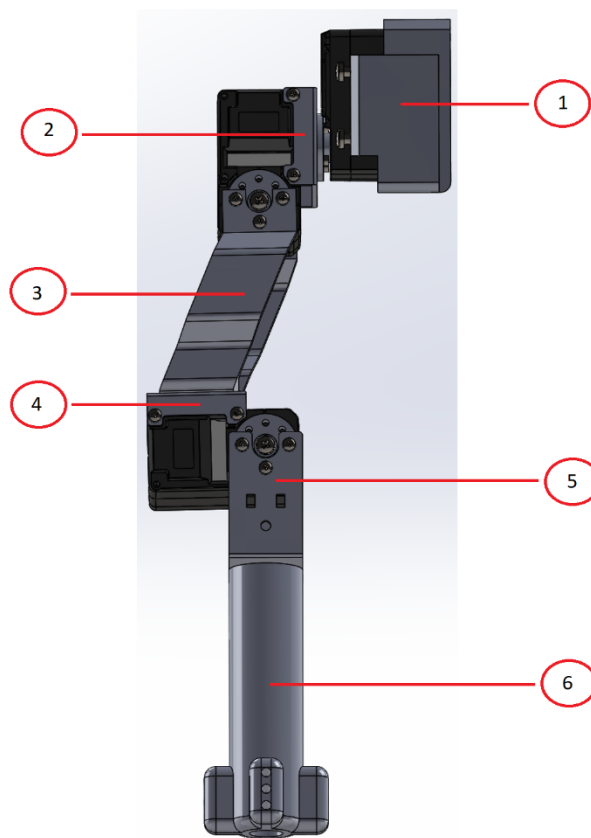


**Figura 28.** Factor de seguridad del tórax.

Se puede apreciar en la Figura 28 que el mínimo factor de seguridad existente es de 3.8 (siendo mayor a 2) por lo que se garantiza una vida útil considerada y se valida el diseño.

### 3.4.3 Diseño de los brazos

Los brazos poseen movimiento, por lo que se requiere realizar un análisis mecánico de sus partes considerando que tiene tres grados de libertad (dos para el hombro y uno para el codo), este análisis será el mismo para ambos brazos. En la Figura 29 se muestra el diseño realizado, se puede apreciar los eslabones, la base, los porta servos y los servomotores. Los planos de cada componente se adjuntan en el Anexo C.



*Figura 29.* Diseño del brazo

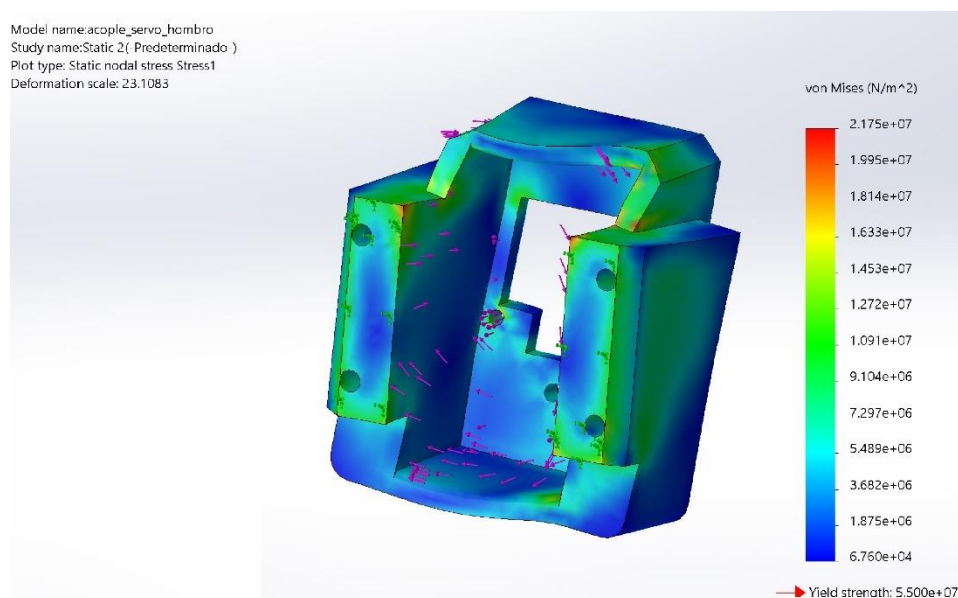
1. Base servomotor
2. Soporte lateral servomotor

3. Eslabón brazo
4. Soporte lateral servomotor
5. Soporte en U servomotor
6. Eslabón antebrazo

#### a. Análisis mecánico de los brazos

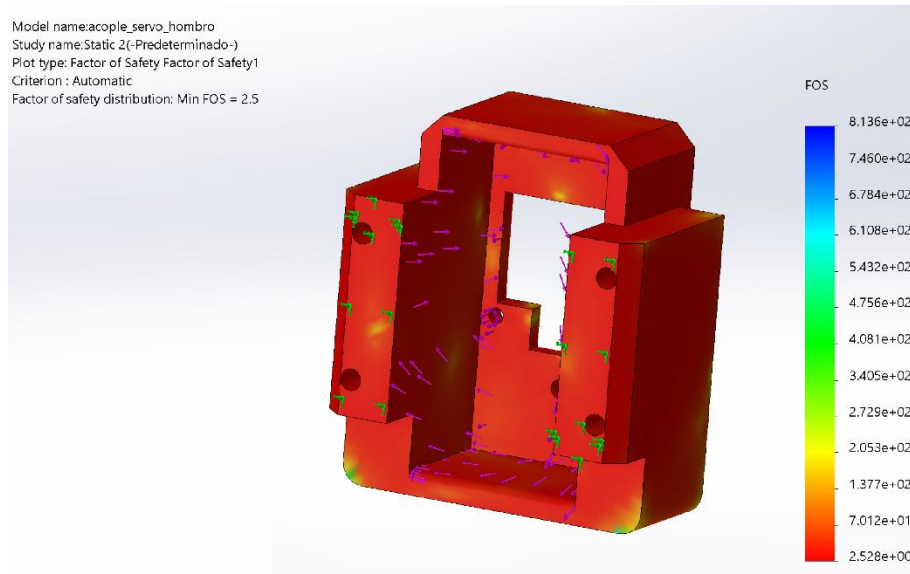
Para este análisis se realiza una simulación CAE de cada elemento para luego ser interpretado, hay que mencionar que para este análisis es necesario considerar el material y sus propiedades.

- Base servomotor



**Figura 30.** Esfuerzo de Von Mises en Base del servomotor.

Esta pieza se requiere hacer con impresión 3D, por lo que se toman las propiedades del material PLA mostrados en la Tabla 24. Como se observa en la Figura 30, el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico de la base del servomotor.



**Figura 31.** Factor de seguridad en base del servomotor.

Se observa en la Figura 31 que el factor de seguridad es de 2.5 garantizando y validando el diseño.

- Soporte lateral servomotor

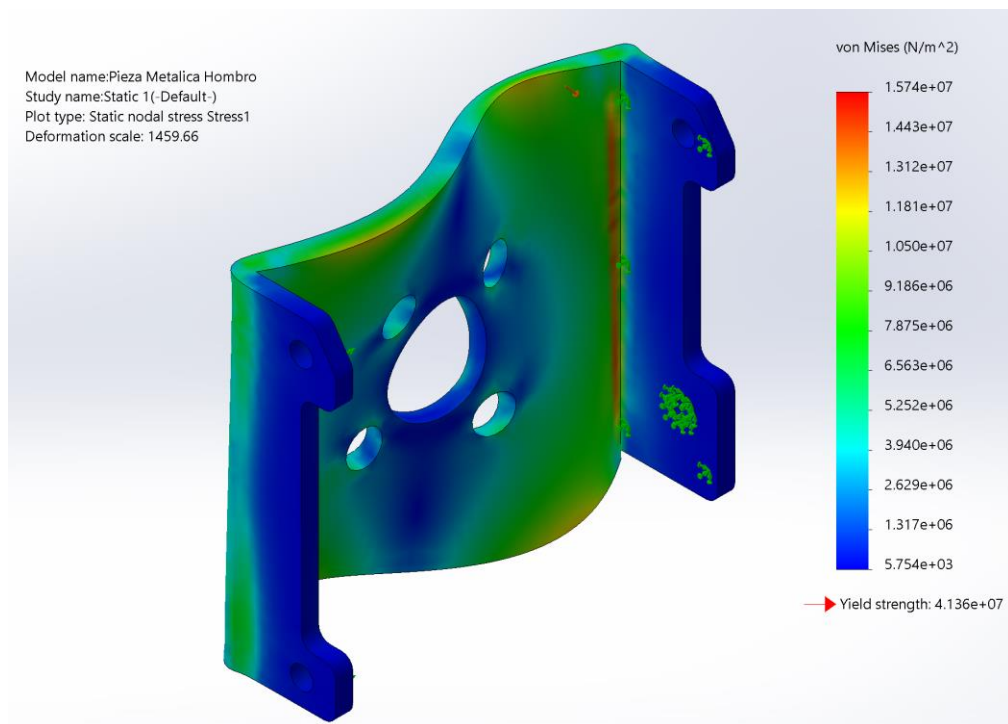
Están diseñados exclusivamente para los servomotores, son elaborados por el fabricante, son de aleación de aluminio (3003), sus propiedades se muestran en la Tabla 66.

**Tabla 66.**

*Características de la aleación de aluminio 3003.*

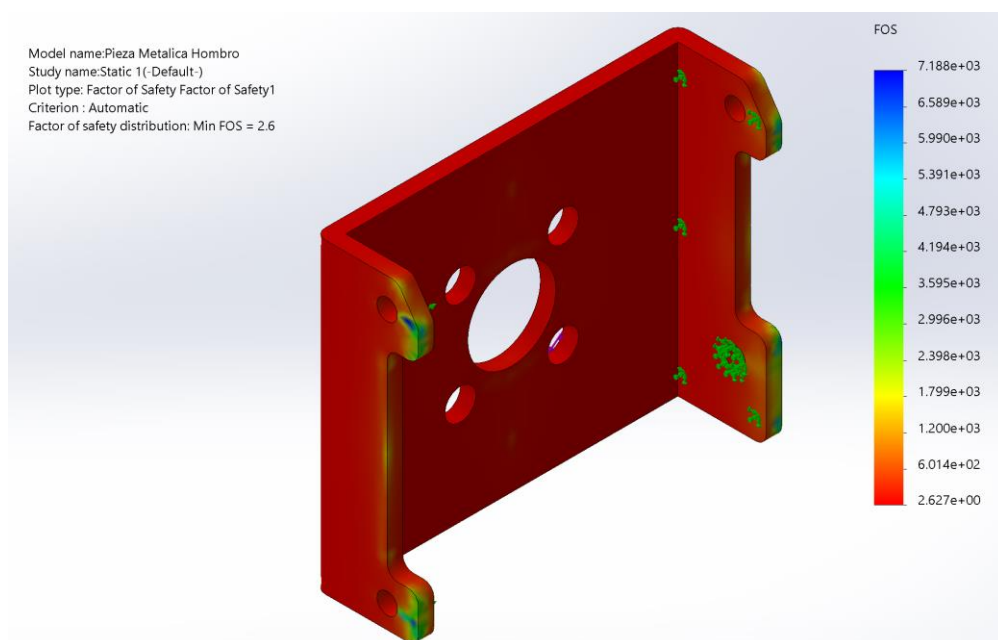
Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	2.73	$g/cm^3$
Módulo de Young	69.5	Gpa
Fusión	640 - 655	$^{\circ}C$
Coefficiente de Poisson	0.33	
Conductividad térmica	0 - 190	$W/m \cdot k$
Calor específico	935	$J/kg \cdot ^{\circ}C$

Fuente: (Metalium, 2013)



**Figura 32.** Esfuerzo de Von Mises en soporte lateral servomotor.

Una vez realizado el análisis de esfuerzos en el soporte lateral servomotor se obtiene que el módulo de elasticidad es superior al mayor esfuerzo como se muestra en la Figura 32.



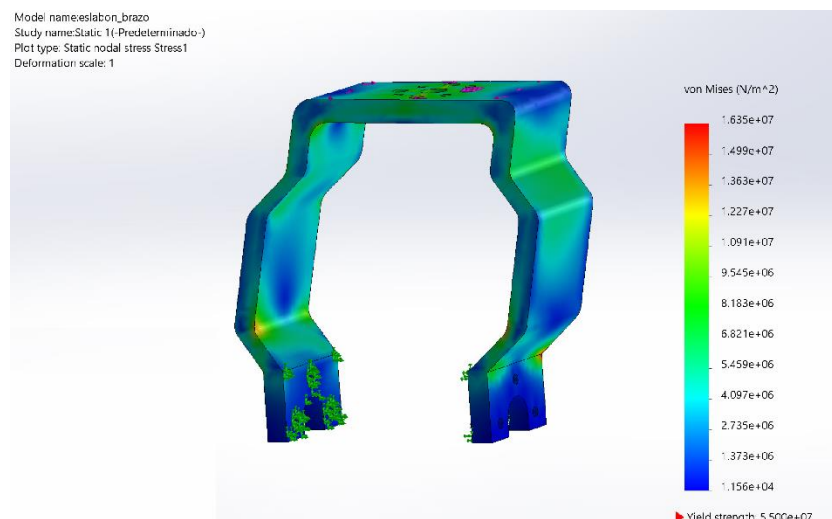
**Figura 33.** Factor de seguridad en soporte lateral servomotor.



En la Figura 33 se muestra el factor de seguridad de 2.6 garantizando y validando el correcto funcionamiento.

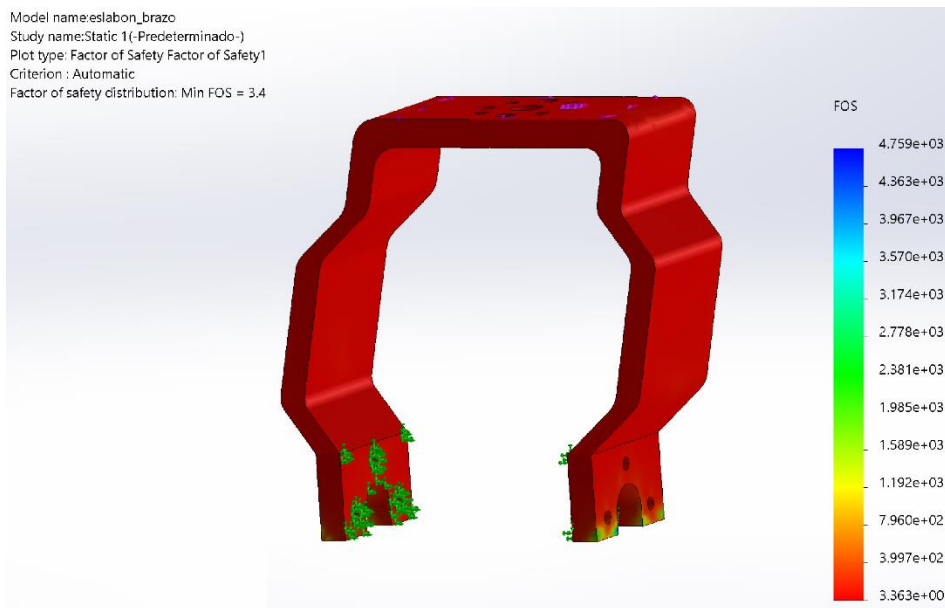
- Eslabón brazo

Esta pieza se diseña para imprimirla en 3D, se consideran las propiedades del material PLA mostradas en la Tabla 24. En la Figura 34 se muestra el esfuerzo resultante siendo menor que el límite elástico del eslabón brazo por lo que se valida y garantiza el diseño.



**Figura 34.** Esfuerzo de Von Mises en eslabón brazo.

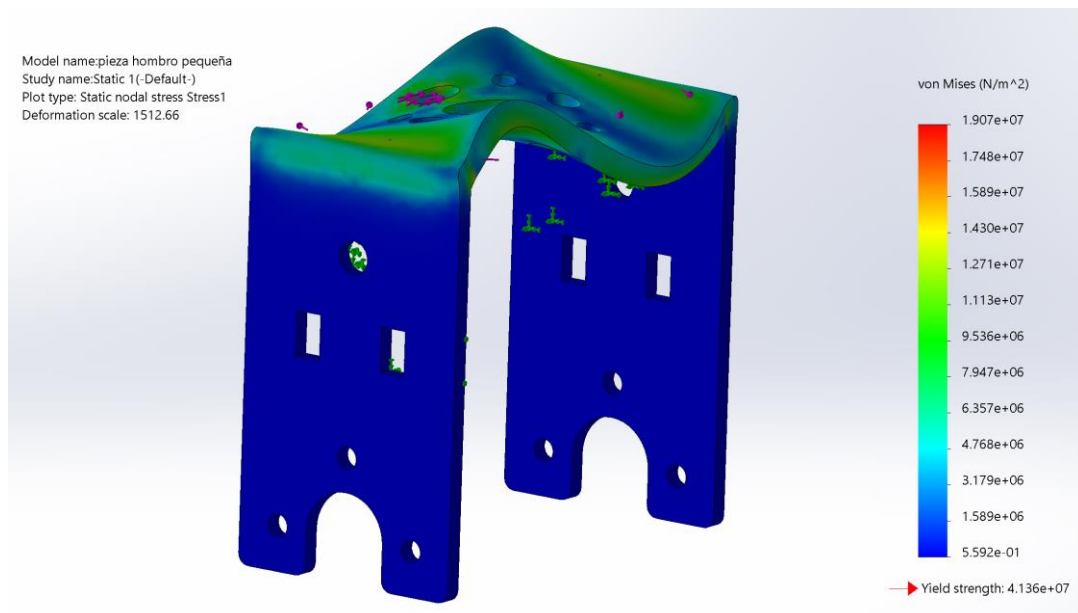
El factor de seguridad de la pieza eslabón brazo se muestra en la Figura 35 siendo de 3.4 (mayor a 2) se valida y garantiza el diseño.



**Figura 35.** Factor de seguridad en eslabón brazo.

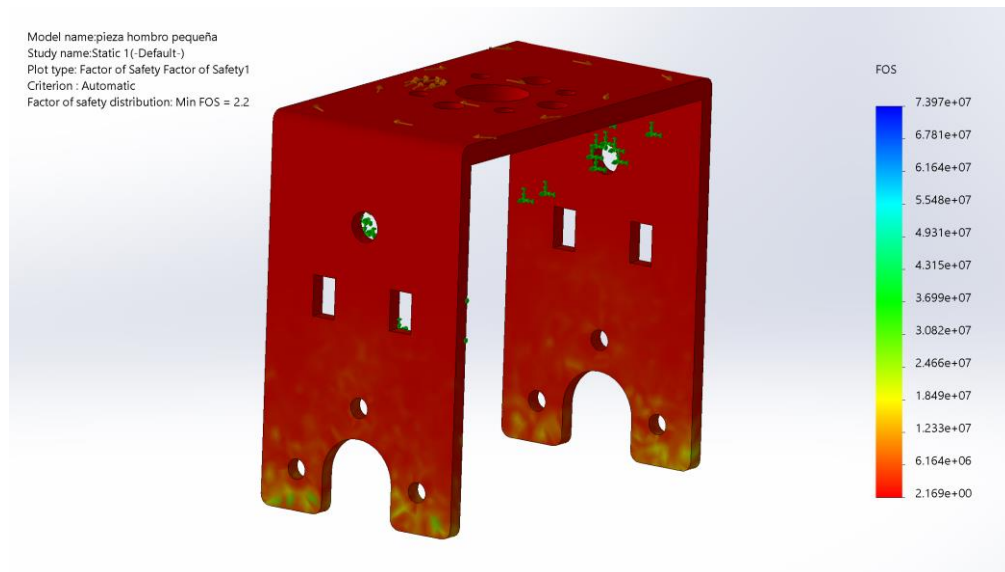
- Soporte en U servomotor

Están diseñados exclusivamente para los servomotores, son elaborados por el fabricante, son de aleación de aluminio (3003), sus propiedades se muestran en la Tabla 66.



**Figura 36.** Esfuerzo de Von Mises de soporte en U servomotor.

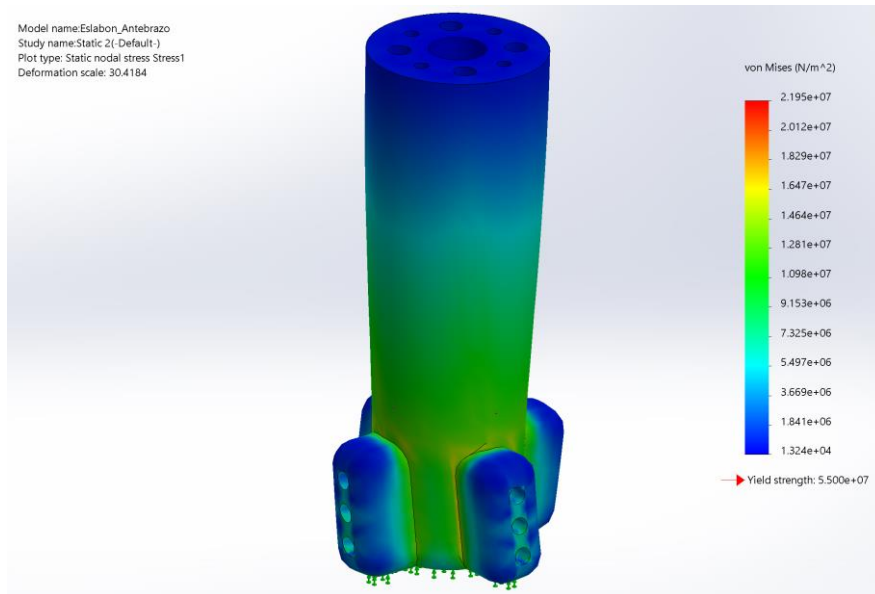
El esfuerzo del soporte en U del servomotor se muestra en la Figura 36, se puede apreciar que es menor al módulo elástico del mismo. En la Figura 37 se muestra el factor de seguridad de la misma pieza, siendo 2.2 (mayor a 2) se valida un correcto funcionamiento.



**Figura 37.** Factor de seguridad de soporte en U servomotor.

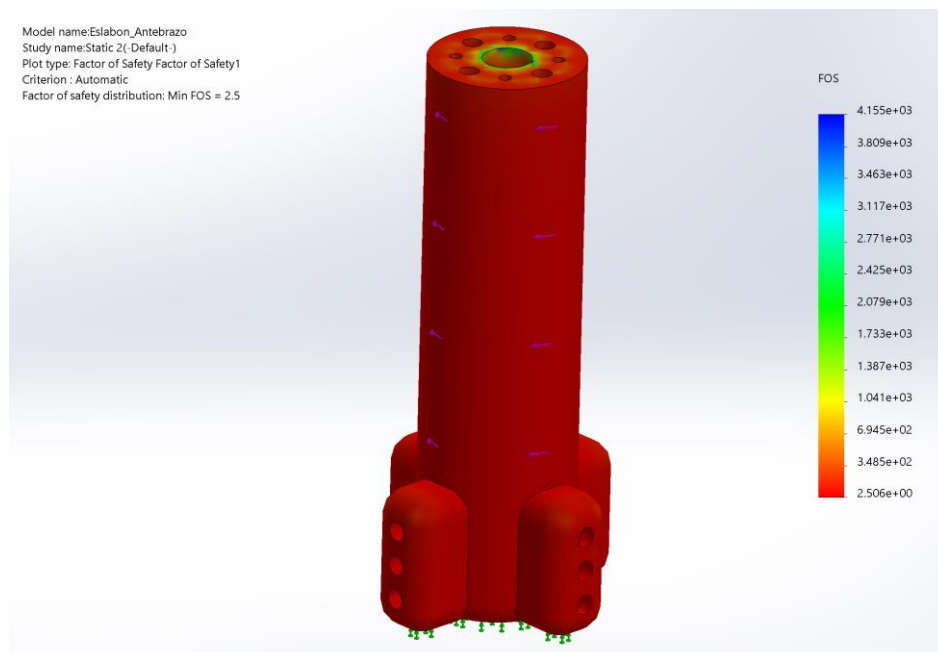
- Eslabón antebrazo

El esfuerzo de Von Mises de la pieza eslabón antebrazo se muestra en la Figura 38, se puede apreciar que es menor al límite elástico.



**Figura 38.** Esfuerzo de Von Mises en eslabón antebrazo.

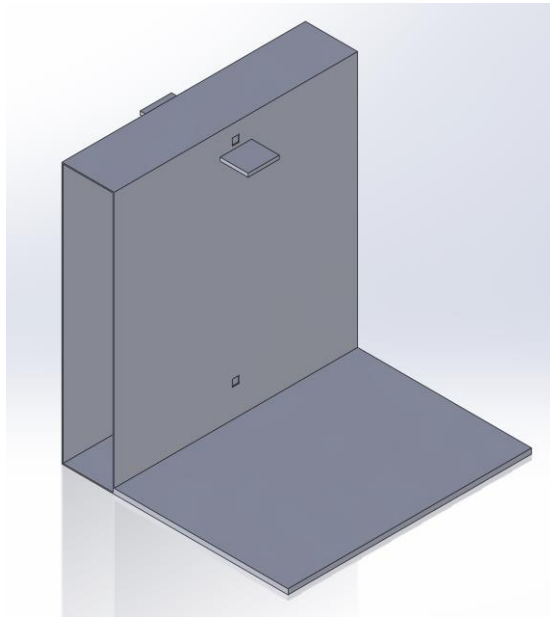
En la Figura 39 se muestra el factor de seguridad en eslabón brazo, siendo este de 2.5 se garantiza la vida útil y el diseño.



**Figura 39.** Factor de seguridad en eslabón antebrazo.

### 3.4.4 Entorno

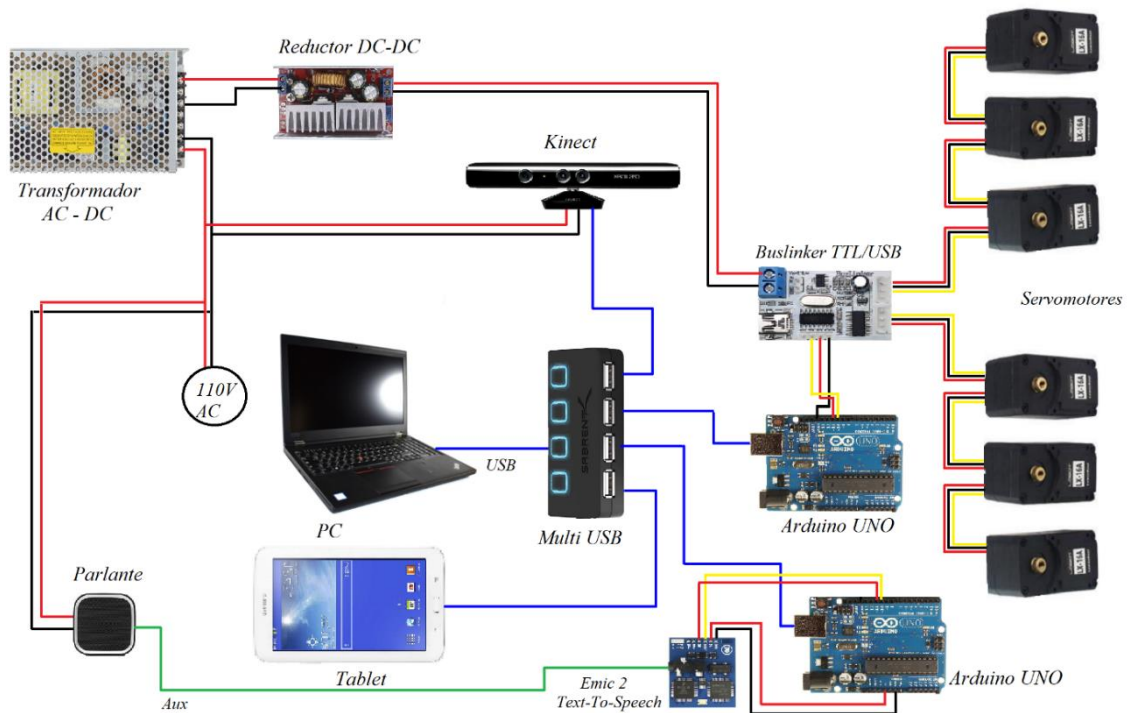
En la Figura 40 se muestra el diseño del entorno en donde se coloca el robot humanoide y los componentes, servirá como plataforma móvil para que exista una mejor interacción entre usuario y paciente, cabe mencionar que este será realizado en madera para un mejor aspecto.



*Figura 40.* Entorno

### 3.5 Diseño Electrónico

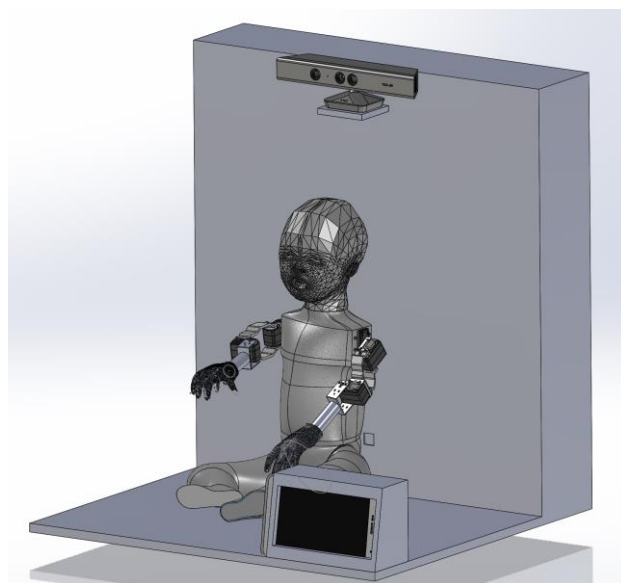
El diseño electrónico consta de la conexión de los componentes del robot animatrónico humanoide que son Arduino UNO, reductor DC-DC, transformador AC-DC, Buslinker TTL/USB, servomotores, Emic 2 Text-To-Speech, parlante, y el Kinect. Cabe mencionar que el Kinect, la Tablet y los Arduino Uno se conectan mediante USB a la PC, por lo que se utiliza un adaptador Multi USB para mayor facilidad. En la Figura 41 se puede apreciar el diagrama de conexión de los componentes.



**Figura 41.** Diagrama de conexión del robot animatrónico humanoide.

### 3.6 Diseño Final

En la Figura 42 se muestra el ensamble final con el cuerpo, los brazos y los componentes del robot animatrónico humanoide.



**Figura 42.** Ensamble del robot animatrónico humanoide

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo describe la construcción de los componentes mecánicos, la implementación de los elementos eléctricos y electrónicos del robot animatrónico humanoide y la realización de las interfaces gráficas.

#### 4.1.1 Construcción del robot animatrónico humanoide

##### a. Construcción del cuerpo

El cuerpo se materializó mediante el moldeo por fibra de vidrio, por lo que se requiere de un molde, este se consiguió de la fabricación de maniqués adaptándolo al diseño realizado considerando las medidas antropométricas. Seguido se coloca las láminas en fibra de vidrio utilizando cobalto, después se retiran las láminas y se espera hasta que quede seco, finalmente se lijan las imperfecciones, se pinta y se laca. Una vez construido, es necesario hacer adecuaciones en el cuerpo para poder colocar los brazos, en la Figura 43 se muestra el cuerpo.



*Figura 43.* Estructura del cuerpo

### b. Construcción y ensamble de los brazos

La base y los eslabones que componen los brazos fueron diseñados para materializarlos por impresión 3D, la técnica utilizada es modelado por deposición fundida con material PLA. En la Figura 44 se muestran las piezas impresas en 3D.



*Figura 44.* Piezas impresas en 3D.

Una vez impresas las piezas se inicia el ensamble del brazo comenzando desde el hombro hacia la mano, cabe mencionar que el ensamble se lo realiza para los dos brazos, en la Figura 45 se muestra el ensamble del servomotor con la base.



*Figura 45.* Ensamble servomotor base.

Se coloca el ensamble servomotor base en el cuerpo como se muestra en la Figura 46, quedando el primer grado de libertad.





**Figura 46.** Ensamble del primer grado de libertad.

El segundo grado de libertad se hace con ayuda de la implementación del segundo servomotor como se muestra en la Figura 47.



**Figura 47.** Ensamble del segundo grado de libertad.

En la Figura 48 se muestra la colocación del eslabón del brazo, completando los dos grados de libertad que posee el hombro.



**Figura 48.** Ensamble eslabón brazo.

El tercer grado de libertad del brazo se hace con la colocación del tercer servomotor como se muestra en la Figura 49.



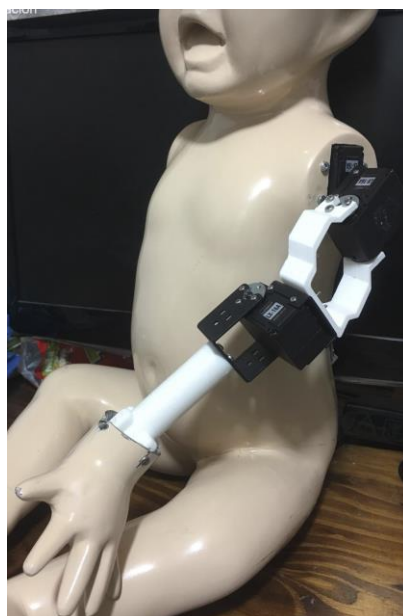
**Figura 49.** Ensamble del tercer grado de libertad.

El eslabón del antebrazo se ensambla como se muestra en la Figura 50, completando así los tres grados de libertad.



**Figura 50.** Ensamble eslabón antebrazo.

La mano es realizada en fibra de vidrio para que tenga el mismo tono que el cuerpo, en la Figura 51 se muestra el ensamble de la mano con el resto del brazo.



**Figura 51.** Ensamble brazo con cuerpo

Una vez ensamblado los brazos en el cuerpo se procede a pintar, para finalmente vestir al robot animatrónico humanoide, en la Figura 52 se puede apreciar.



*Figura 52.* Robot animatrónico humanoide

### **c. Implementación de componentes eléctricos y electrónicos**

Una vez construido el robot animatrónico humanoide, se procede a implementar los componentes eléctricos y electrónicos siguiendo el esquema de la Figura 41.

## **4.2 Implementación de interfaces gráficas**

El robot animatrónico humanoide será la interfaz entre el usuario y el terapeuta, por lo que se realizan dos interfaces gráficas, tanto para el terapeuta como para el usuario. El movimiento del robot animatrónico humanoide será realizado únicamente por el terapeuta mientras que el usuario podrá interactuar con el robot animatrónico humanoide a través de la pantalla táctil siguiendo las instrucciones que el terapeuta mencione a través del robot.

### **4.2.1 Interfaz gráfica del terapeuta**

El diseño y programación de esta interfaz se la realiza en Processing, es necesario considerar que es el encargado del movimiento de los brazos por lo que se comunica con las tarjetas de control Arduino UNO, en Processing también se enlaza el sensor Kinect y lo interpreta para la imitación de movimientos. Processing se basa en Java, es necesario tener

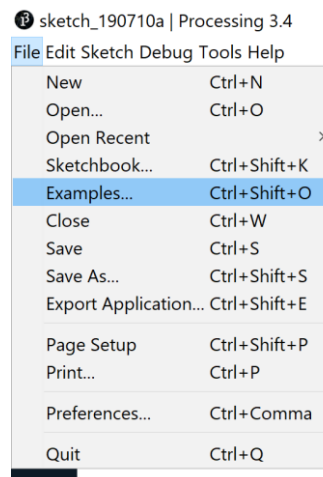
actualizado en la última versión para no tener ningún inconveniente. Existen más de 100 bibliotecas en Processing, para este proyecto se requieren SimpleOpenNi, ControlP5 y Processing.Serial, a continuación, se describen las librerías y su instalación.

- SimpleOpenNi: Es una librería que contiene las propiedades y configuraciones del Kinect, ayudando a acceder a los servicios del sensor. (Meza, 2012) Previamente a la instalación se deben instalar los siguientes programas:
  1. Kinect for Windows SDK.
  2. Kinect for Windows Developer Toolkit Setup.
  3. OpenNI.
  4. PrimeSense NITE.
  5. PrimeSense Sensor.
  6. PrimeSense Sensor KinectMod.

Seguido se instala la librería siguiendo los pasos:

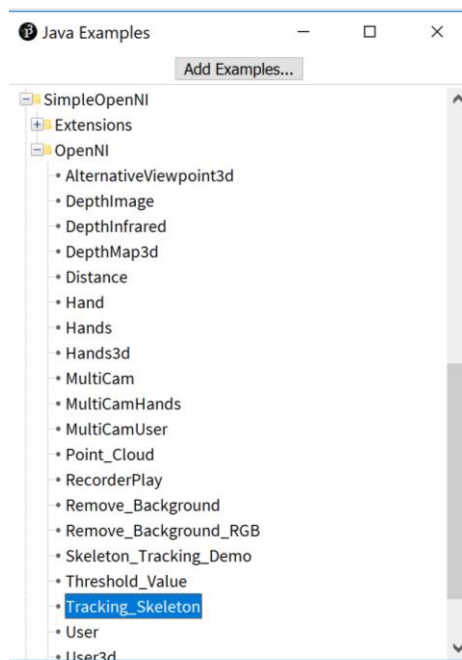
1. Descargar la librería.
2. Copiar y extraer el contenido en la carpeta de librerías de Processing.
3. Reiniciar Processing.

La comprobación del funcionamiento de Kinect en Processing se la hace abriendo un ejemplo de la siguiente manera: File → Examples. En la Figura 53 se muestra este proceso.



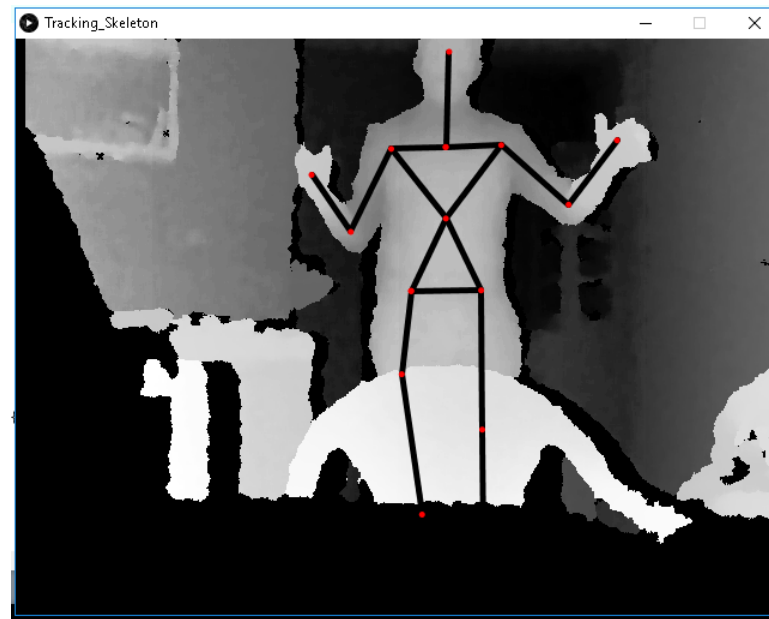
**Figura 53.** Ejemplos de Processing

Seguido se abre una ventana en la que se escoge: Contributed Libraries → SimpleOpenNI → OpenNI → Tracking\_Skeleton. En la Figura 54 se aprecia la selección.



**Figura 54.** Selección de ejemplo.

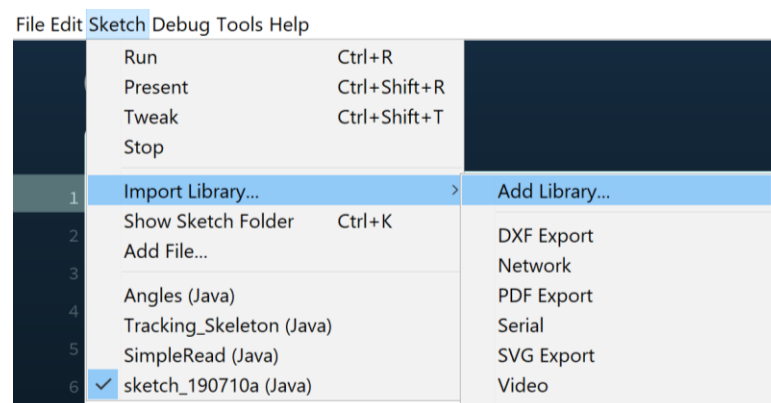
Se ejecuta el ejemplo, de tal manera que se reconozca el cuerpo humano como eslabones, en la Figura 55 se muestra el ejemplo.



**Figura 55.** Ejecución de ejemplo.

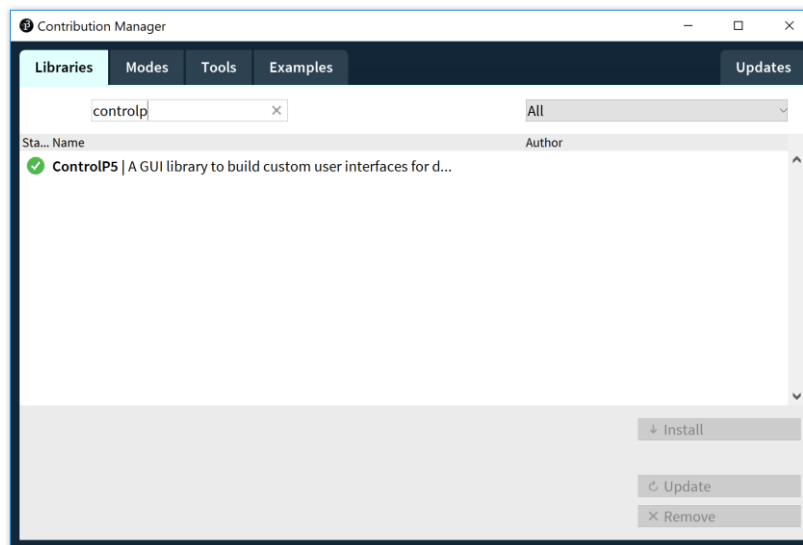
- ControlP5: Esta librería sirve para ayudar a definir elementos para el diseño de interfaces gráficas de usuario como: cuadros de texto, botones, barras de desplazamiento, etc. (Sojamo, 2015) El proceso de instalar esta librería es el siguiente:

Sketch → Import Library → Add Library. En la Figura 56 se muestra este proceso.



**Figura 56.** Importación librería.

Aparece una ventana en la que se busca la librería y se instala como se muestra en la Figura 57.

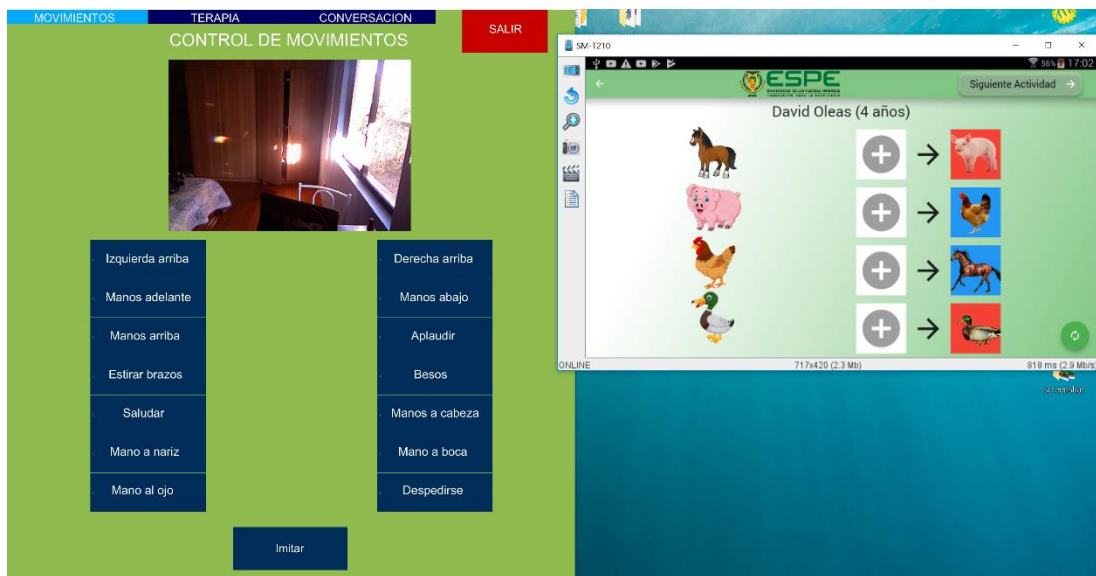


**Figura 57.** Instalación de librería.

- Processing.Serial: Es la librería que lee y escribe datos, comunicándose con computadoras o dispositivos como microcontroladores, el puerto serie se puede emular mediante USB. (Processing, 2019) Es importante debido a que se comunica con la tarjeta Arduino UNO y con el sensor Kinect, ambos a través de USB. El proceso de instalación es similar al de la librería ControlP5.

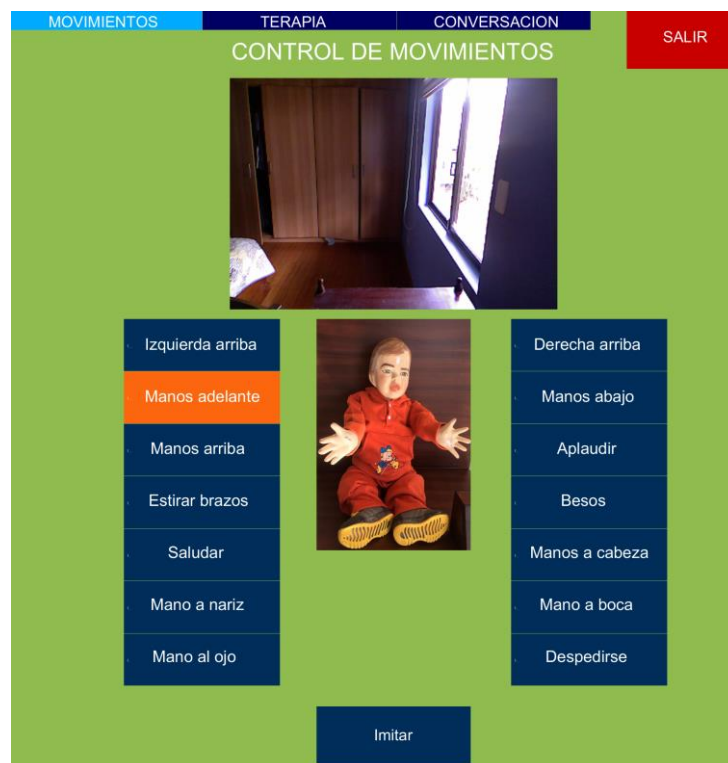
Una vez instaladas las librerías se procede a la programación implementando el hardware, la interfaz gráfica posee tres pantallas en las cuales se hace el control de movimiento, el seguimiento a la terapia y la conversación con el usuario. Hay que mencionar que en las tres pantallas se puede observar lo que el usuario está haciendo, la posición en la que se encuentra el robot y el botón de salida. En una pantalla a parte se proyecta en tiempo real la imagen de la Tablet, para que de esta manera el terapeuta supervise la actividad que el niño realiza, esto se puede apreciar en la Figura 58.





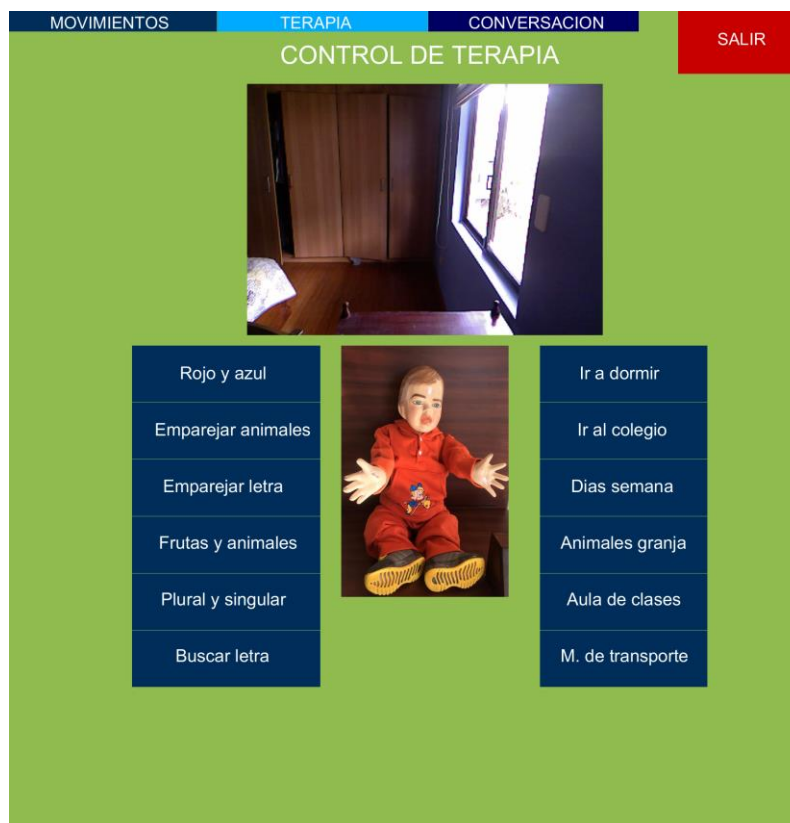
**Figura 58.** Interfaz del terapeuta

En la Figura 59, se muestra la pantalla para el control del movimiento del robot animatrónico humanoide, se pueden ver los movimientos que realizan los brazos en las dos columnas y la imitación de movimiento de brazos se hace con ayuda del botón inferior.



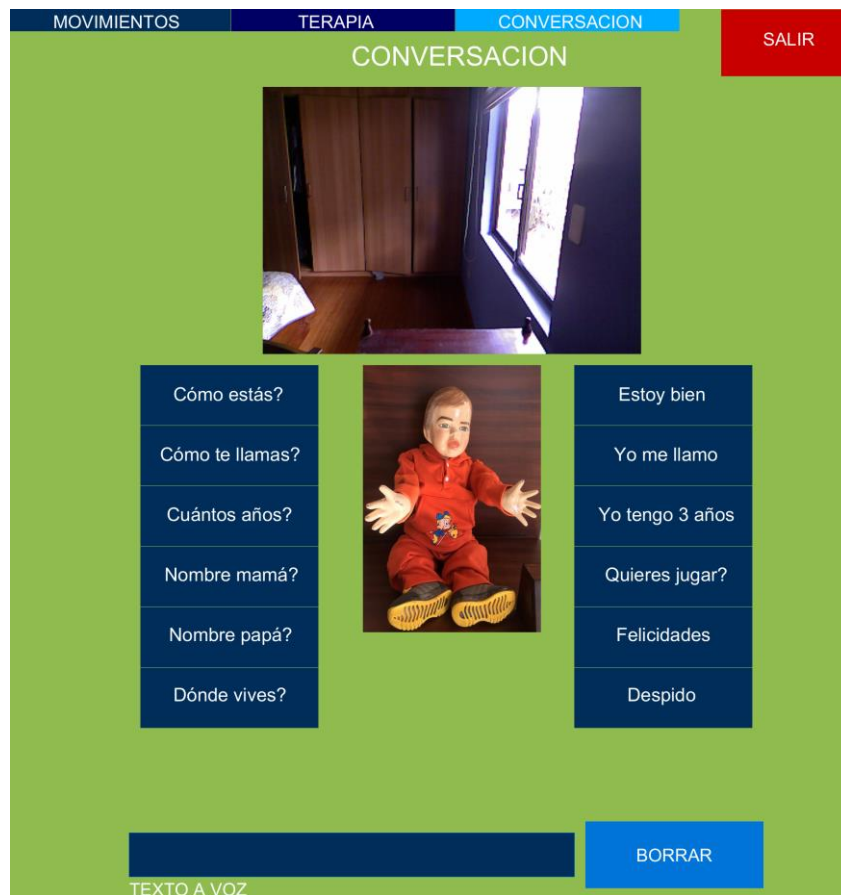
**Figura 59.** Pantalla de movimientos.

En la Figura 60 se muestra la pantalla para la terapia del robot animatrónico humanoide, en ésta el terapeuta da instrucciones de las actividades que realiza el niño en la aplicación multimedia.



**Figura 60.** Pantalla de terapia.

En la Figura 61 se observa la pantalla de conversación en la que el terapeuta puede expresar frases preprogramadas o a su vez, escribir las palabras que el considere apropiadas, para que sean dichas por el robot animatrónico humanoide.



**Figura 61.** Pantalla de conversación.

#### 4.2.2 Interfaz gráfica del usuario

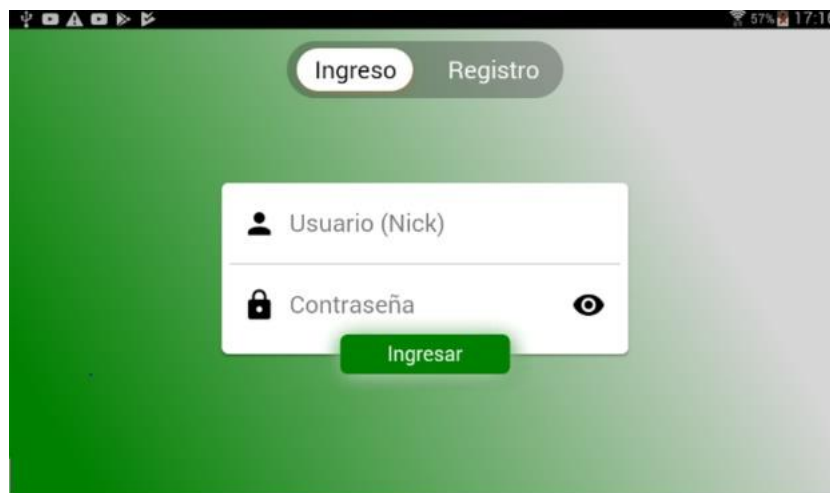
Esta interfaz se proyecta en la tableta Samsung Galaxy Tab3, se diseña y programa en el software Android Studio con ayuda del complemento Flutter en lenguaje Dart. A continuación, se describen los pasos para la instalación del complemento en Android Studio.

- Descargar e instalar el programa Git.
- Descargar el SDK de Flutter y extraer en el Disco C.
- Agregar el comando “flutter” a la Command Prompt abriendo el editor de variables del sistema y seleccionando la ruta en la que se encuentre la carpeta “bin”.
- Comprobar en la Command Prompt escribiendo “flutter” seguido de la tecla Enter.

- Abrir Android Studio → Configurar → Añadir Plugins → Escribir “Flutter” y buscar en repositorios e instalar.
- Actualizar y reiniciar Android Studio.

Una vez instalado el complemento Flutter se procede a la programación, esta interfaz gráfica es de carácter interactivo, por lo que posee 12 juegos basados en el método Teacch, posee registro de usuario (terapeuta) y registro de niño, de tal manera que se pueda tener retroalimentación del terapeuta que impartió la terapia, así como del niño que la recibió. Además, posee una base de datos en la que se puede ver los resultados de las actividades. A continuación, se muestran y describen las pantallas que posee la interfaz gráfica.

#### a. Ingreso e inicio.



*Figura 62.* Ingreso del terapeuta.

En la Figura 62 se muestra la pantalla de inicio, en la cual se ingresa el usuario y la contraseña del terapeuta, con esto se obtiene un control más personalizado de las terapias, y los resultados de las actividades impartidas se guardan en la base de datos.



**Figura 63.** Registro del terapeuta.

En la Figura 63 se muestra la pantalla del registro del terapeuta, en la cual se debe escribir el nombre, usuario, correo electrónico, y la contraseña.



**Figura 64.** Pantalla de inicio.

Una vez iniciada la sesión, se muestra la pantalla de inicio mostrada en la Figura 64, en ésta se puede acceder a distintas opciones de la aplicación multimedia que llevan a pantallas de: Registro de niño, Resultado de Actividades, Menú de Actividades y Consultar Niño.

### b. Registro de niño.

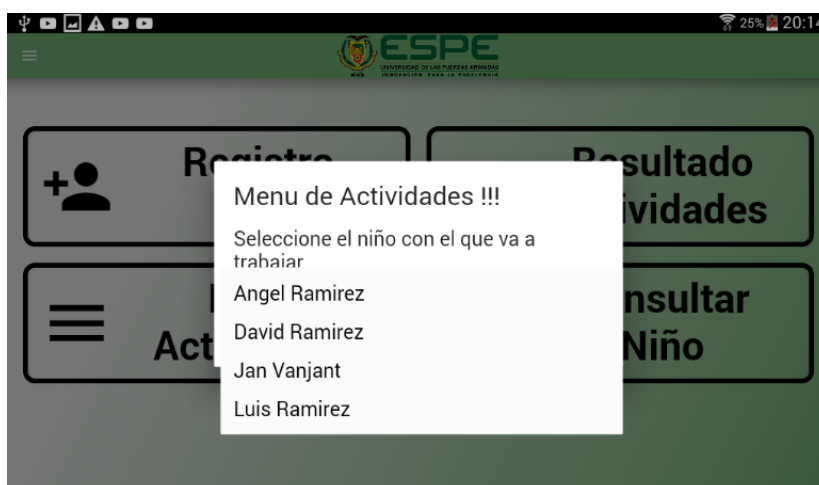
La pantalla del registro de niños mostrado en la Figura 65 consta del ingreso del nombre, apellido, observaciones (puede ser opcional), y la fecha de nacimiento del niño. Una vez ingresado estos datos, se guardan con ayuda del botón “Guardar Datos”.

The image shows a mobile application interface for child registration. At the top, there is a green header with the ESPE logo and the text 'UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - INGENIERIA PARA LA PAZ Y LA JUSTICIA'. Below the header, there are four input fields: 'Ingrese Nombre (\*)', 'Ingrese Apellido (\*)', 'Ingrese Observaciones (opcional)', and 'Fecha de Nacimiento'. A green button labeled 'Guardar Datos' is positioned to the right of the 'Fecha de Nacimiento' field. The background is a light green color.

*Figura 65.* Registro de niño.

### c. Juegos.

La opción “Menú Actividades” mostrada en la Figura 64 lleva a la pantalla mostrada en la Figura 66, en la cual se selecciona el niño con el que se realizarán las actividades.



*Figura 66.* Selección de niño.

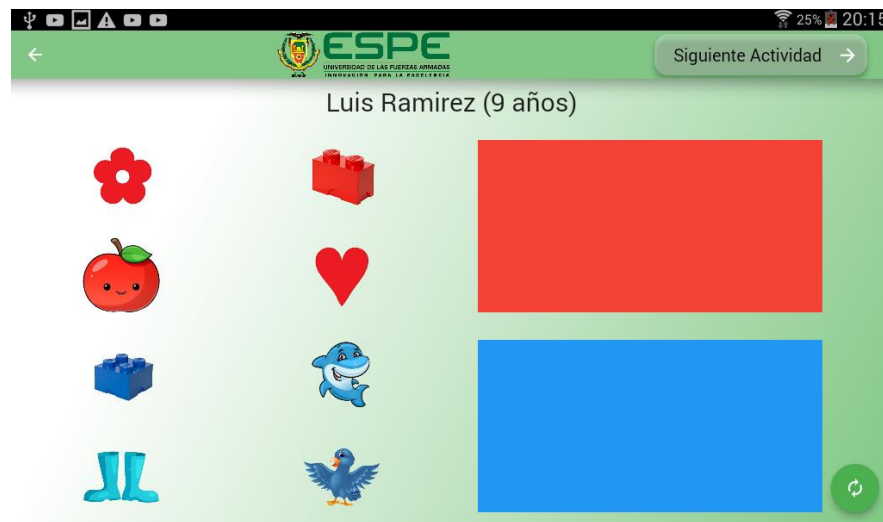
Una vez seleccionado el niño, se muestra la pantalla mostrada en la Figura 67, en la cual están cuatro actividades: Organización Espacial, Concepto de Terminado, Rutinas Flexibles e Información Visual, cada una de ellas tiene tres juegos.



**Figura 67.** Tipo de actividad.

Organización Espacial posee los siguientes juegos:

- Clasificación según el color: consiste en la clasificación de diferentes objetos en base a una característica en este caso el color, si el usuario comete un error este es contado dentro de la programación del juego para poder realizar la gráfica de resultados, el juego también posee un botón con el cual se puede cambiar de forma aleatoria la posición de los objetos, hay que mencionar que esta característica está presente en todos los juegos. En la Figura 68 se muestra la pantalla de este juego.



**Figura 68.** Clasificación según color.

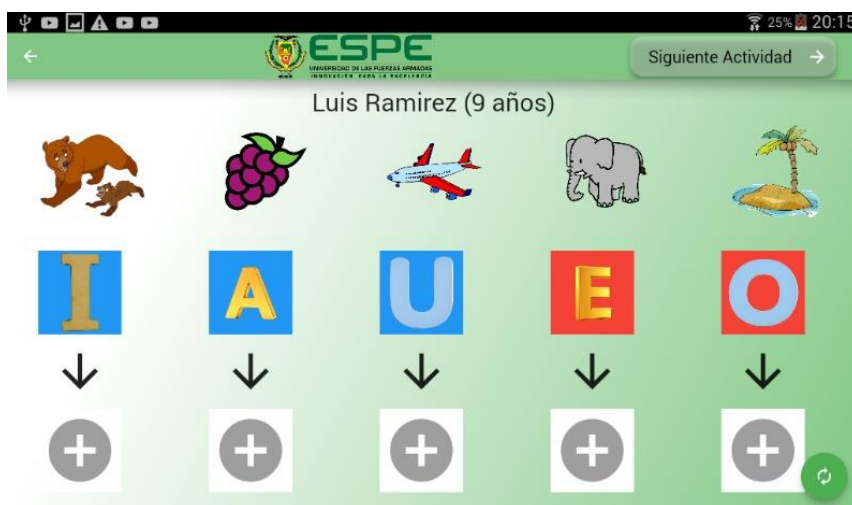
- Emparejamiento de animales: en una columna se muestra fotos de animales y en la otra columna se muestra imágenes caricaturizadas de los mismos animales, el objetivo es que el niño traslade la caricatura del animal a la foto que le corresponde. En la Figura 69 se muestra este juego.



**Figura 69.** Emparejamiento de animales.

- Emparejamiento basado en vocales e imágenes: se basa en vocales y objetos que comiencen con dicha vocal. El objetivo del juego es que el niño mueva el objeto arriba de la vocal que le corresponde. Este juego se muestra en la Figura 70.





**Figura 70.** Emparejamiento basado en vocales.

Concepto de Terminado posee los siguientes juegos:

- Clasificación de animales y frutas: consiste en clasificar de entre una serie de imágenes en dos grupos, la clasificación se basa en si la imagen es una fruta o un animal, cada grupo se debe colocar por separado hasta que ya no haya imágenes que clasificar. Este juego se muestra en la Figura 71



**Figura 71.** Clasificación animales y frutas.

- Clasificación singular y plural: consiste en clasificar de entre una serie de imágenes en dos grupos, la clasificación se basa en si la imagen es singular o plural, cada grupo

se debe colocar por separado hasta acabar las imágenes. En la Figura 72 se muestra este juego.



*Figura 72.* Clasificación singular y plural.

- Encuentro de letra específica: consiste en una sopa de letras en la que el niño debe seleccionar dentro de la sopa, la letra que se le pide hasta que se acaben las letras.

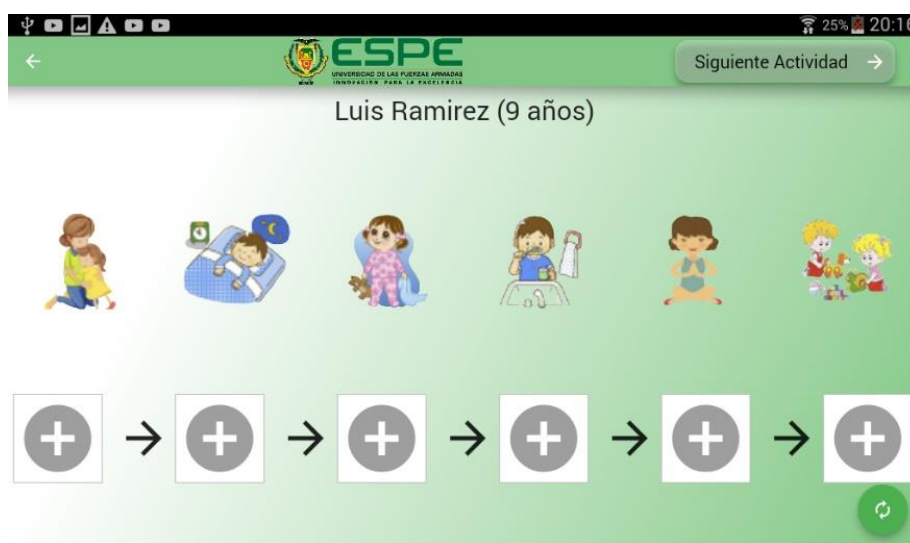
Este juego se muestra en la Figura 73.



*Figura 73.* Encuentro de letra específica.

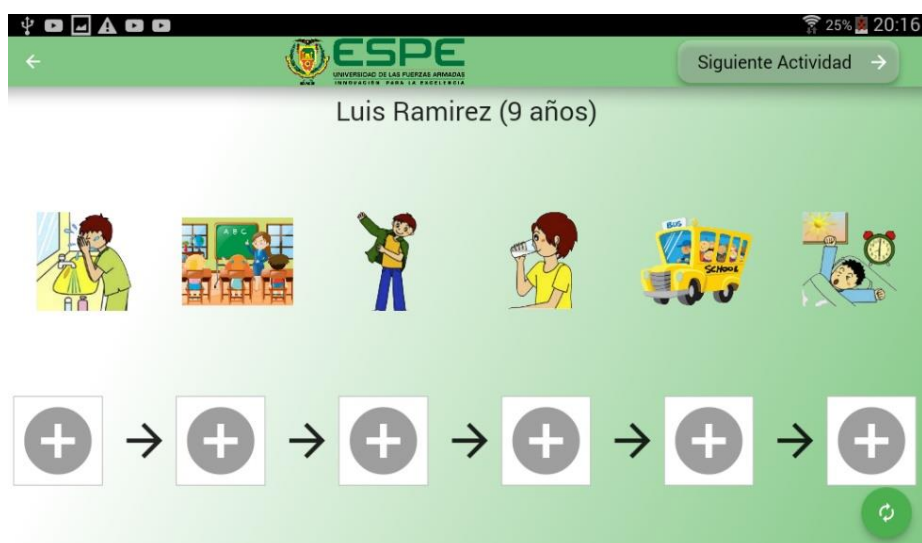
Rutinas Flexibles posee los siguientes juegos:

- Rutina para dormir: consiste en organizar de forma secuencial la actividad de irse a dormir, hay que tener en cuenta que no todos los niños realizan en el mismo orden la misma actividad, por lo que posee una lógica para todas las personas, por ejemplo, no se irá a dormir antes de cepillarse los dientes. En la Figura 74 se muestra este juego.



*Figura 74.* Rutina de ir a dormir.

- Rutina para ir al colegio: consiste en organizar de forma secuencial las actividades que se requieren para despertarse e ir a la escuela, de igual manera el niño tiene que tener cierta libertad al momento de armar la secuencia de acuerdo a su criterio. En la Figura 75 se aprecia este juego.



**Figura 75.** Rutina de ir al colegio.

- Días de la semana: consiste en ordenar de forma correcta los días de la semana, el niño tiene que mover los recuadros que contienen los días y colocarlos en el orden correcto. Este juego se aprecia en la Figura 76.



**Figura 76.** Días de la semana.

Información visual posee los siguientes juegos:

- Animales de granja: consiste en seleccionar de una serie de animales los que pertenecen a una granja y moverlos al recuadro, el niño puede moverlo a cualquier

posición y el animal mantendrá esa posición, si el niño se equivoca de animal este será devuelto a la lista de opciones. En la Figura 77 se aprecia este juego.



*Figura 77.* Animales de granja.

- Aula de clases: consiste en seleccionar de una serie de objetos únicamente los que pertenecen al aula de clases y moverlos al recuadro, el niño puede moverlo a cualquier posición y el objeto mantendrá esa posición, si el niño se equivoca de objeto este será devuelto a la lista de opciones. Este juego se puede apreciar en la Figura 78.



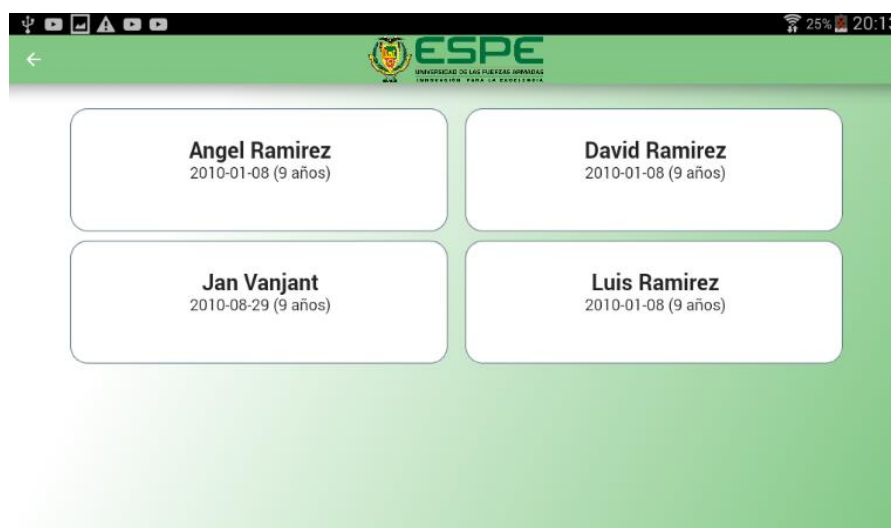
*Figura 78.* Aula de clases.

- Medios de transporte: consiste en seleccionar de una serie de objetos únicamente los medios de transporte y moverlos al recuadro, el niño puede moverlo a cualquier posición y el objeto mantendrá esa posición, si el niño se equivoca de objeto este será devuelto a la lista de opciones. En la Figura 79 se aprecia este juego.



*Figura 79.* Medios de Transporte.

#### d. Consulta y edición de datos



*Figura 80.* Consulta de niño.

Al ingresar en la opción “Consultar niño” de la Figura 64 se muestra la pantalla mostrada en la Figura 80, en la cual se despliega una lista con todos los niños que posean un perfil en la base de datos. Si se accede a cualquier opción de la lista de niños se muestra una pantalla donde se muestran los datos, los cuales pueden ser editados, además de poseer una opción para eliminar el registro si se considera necesario, en la Figura 81 se muestra esta pantalla.



The screenshot shows a mobile application interface for editing a child's profile. At the top, there is a green header with the ESPE logo and the text "UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS" and "INNOVACIÓN PARA LA PAZ Y LA JUSTICIA". A back arrow is on the left, and an "Eliminar Registro" button is on the right. Below the header, there are four input fields: "Ingrese Nombre (\*)" with the value "David", "Ingrese Apellido (\*)" with the value "Oleas", "Ingrese Observaciones (opcional)" with the value "Na", and a date field with the value "2015-08-12 (4 años)". A green "Actualizar Datos" button is located at the bottom right.

**Figura 81.** Edición de datos del niño.

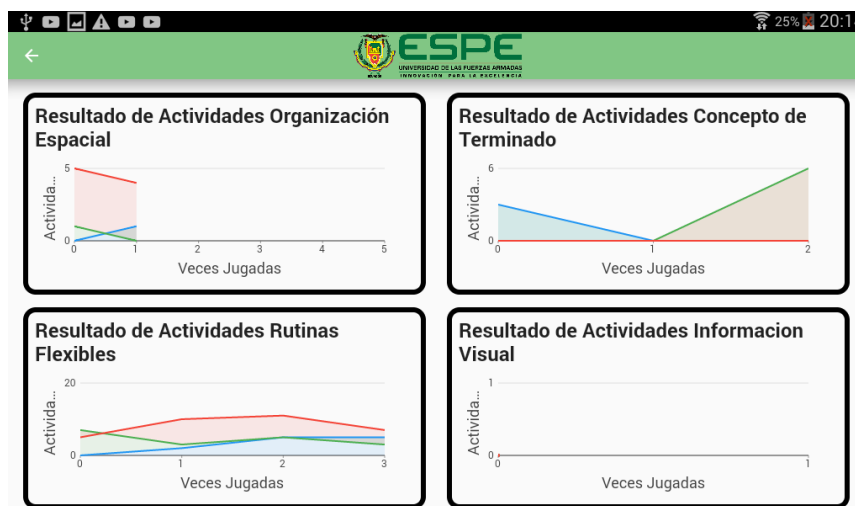
#### **e. Resultado de actividades**

La opción “Resultado Actividades” de la Figura 64 lleva a la pantalla mostrada en la Figura 82, en la cual se muestra una lista de todos los perfiles creados para los niños.



**Figura 82.** Lista de niños.

Al seleccionar un niño se despliega la pantalla mostrada en la Figura 83, en la que se muestra graficas de resultados de las cuatro actividades generales que posee la aplicación. Cada grafica especifica el número de errores en cada juego versus el número de veces que se jugó.



**Figura 83.** Resultado por actividad.

Al seleccionar cualquier grafica de actividad se despliega una nueva pantalla en la cual se detalla de mejor manera los tres juegos mostrando la fecha en la que se realizó el juego, el terapeuta con el que trabajó y el número de fallas que cometió. Esta pantalla se muestra en la Figura 84.



Actividad1	Actividad2	Actividad3
2019-08-21 12:33:02 Terapeuta (terapeuta1) 2 Fallas	2019-08-21 12:33:23 Terapeuta (terapeuta1) 2 Fallas	2019-08-21 12:33:48 Terapeuta (terapeuta1) 7 Fallas
2019-08-21 12:36:12 Terapeuta (terapeuta1) 2 Fallas	2019-08-21 12:36:20 Terapeuta (terapeuta1) 0 Fallas	2019-08-21 12:36:37 Terapeuta (terapeuta1) 6 Fallas
2019-08-21 12:40:17 Terapeuta (terapeuta1) 3 Fallas	2019-08-21 12:42:43 Terapeuta (terapeuta1) 2 Fallas	2019-08-21 12:43:19 Terapeuta (terapeuta1) 10 Fallas

**Figura 84.** Resultado por juego.

## CAPÍTULO V

### PRUEBAS Y RESULTADOS.

En el presente capítulo se realizan pruebas con el fin de validar el funcionamiento del robot animatrónico humanoide y los requerimientos de la investigación previamente planteados. Las pruebas de las funciones se realizaron con niños sin tener el síndrome del trastorno del espectro autista, en las cuales los autores del proyecto y el tutor del mismo validan los requerimientos, y de esta manera se corrobora el correcto funcionamiento del robot animatrónico humanoide. Una vez comprobado el funcionamiento, los especialistas hacen pruebas con el fin de emitir un criterio con argumentos profesionales que validen el robot animatrónico humanoide en niños y niñas con síndrome del trastorno del espectro autista.

Se realizan las pruebas en niños y niñas de 4 a 12 años de edad con el síndrome del trastorno del espectro autista de tal manera que interactúen con el robot animatrónico humanoide, así como la operación del mismo por parte de los terapeutas. Finalmente, con ayuda de encuestas realizadas a los terapeutas se analizan y validan los resultados.

#### **5.1 Valoración terapéutica.**

Debido a que el proyecto tiene carácter terapéutico, es necesario la valoración en el área de enseñanza y terapia a niños especiales, se recurre a la Lcda. Martha Tenorio, especialista en este campo. A través de reuniones con la especialista, se obtuvieron los requerimientos de movimientos y las ideas para los juegos de la aplicación multimedia, de tal manera que el robot animatrónico humanoide sirva como interfaz entre el especialista y el usuario, la información obtenida fue analizada por parte de los autores para implementarla. En el desarrollo del proyecto se consideraron varias sugerencias propuestas por la especialista, para que de esta manera el robot animatrónico humanoide satisfaga eficientemente con los requerimientos.

La validación terapéutica del robot animatrónico humanoide se la realiza con ayuda de la Lcda. Martha Tenorio y la Lcda. Carmen Caisalití, quienes realizaron las pruebas de funcionamiento tanto como terapeutas y como usuarios. En la Figura 85 se muestra la interacción de los terapeutas con el robot.



*Figura 85.* Interacción de terapeuta con robot.

## **5.2 Valoración con niños y niñas con TEA.**

Las pruebas se realizaron en el centro para niños especiales San Miguel ubicada en la ciudad de Salcedo, con ayuda de los terapeutas mostrados en la Tabla 67 y 5 pacientes con TEA. Los pacientes acuden a este centro dos veces por semana, y se seleccionan en base a criterios de los especialistas. En la Tabla 67 se muestran los datos de los terapeutas.

**Tabla 67.**  
*Datos de terapeutas.*

<b>Nombre</b>	<b>Especialidad</b>
Martha Tenorio	Estimulación Temprana
Alexandra Aguilar	Estimulación Temprana
Carmen Caisalití	Terapia Ocupacional
Vanessa Jensen	Estimulación Temprana
Beatriz Naranjo	Terapia Ocupacional

Los pacientes realizan dos sesiones a la semana, en cada sesión se ejecutan una vez las actividades planteadas en la aplicación multimedia durante aproximadamente 20 minutos, descansando un minuto entre cada actividad, con la finalidad de que el paciente no pierda el interés entre actividades. Las actividades realizadas son guardadas en la base de datos mientras se ejecutan, en esta se guardan los errores de cada actividad con el fin de tener una herramienta para medir el progreso de cada paciente. En la Figura 86 se muestra la interacción del robot con un paciente.



**Figura 86.** Interacción paciente-robot.

### 5.3 Técnica de evaluación

Se selecciona como técnica la encuesta, para conocer opiniones y criterios de cada terapeuta con respecto a la funcionalidad, control y diseño. Cabe mencionar que estas encuestas se realizan al finalizar todas las sesiones.

### 5.4 Tabulación de encuestas

Para visualizar de mejor manera los resultados de las encuestas, se tabulan en tablas, siendo la Tabla 68 con criterio de evaluación de “Si o No” y la Tabla 69 con criterio de evaluación cualitativo.

#### Tabla 68.

*Resultados de preguntas con criterio de evaluación: Si o No.*

N°	Preguntas	Respuestas	
1	¿Considera que la robótica social ayuda a la terapia de niños con TEA?	SI: 5	NO:0
2	¿Es beneficioso aplicar el método TEACCH con ayuda de la robótica y nuevas tecnologías?	SI: 5	NO:0
3	¿El robot animatrónico humanoide le ayudó a transmitir información a los niños con TEA?	SI: 4	NO:1
4	¿La imitación de movimientos ayudó a la interacción de los niños con TEA?	SI: 4	NO:1
5	¿El aspecto del robot animatrónico humanoide va acorde a la terapia de niños con TEA?	SI: 4	NO:1
6	¿La interacción con el niño con TEA mejoró con el robot animatrónico humanoide?	SI: 4	NO:1
7	¿El robot animatrónico humanoide le ayudó a la terapia de niños con TEA?	SI: 4	NO: 1
8	¿La base de datos le ayudó al seguimiento de la terapia?	SI: 5	NO: 0
9	¿Consideraría el uso del robot animatrónico humanoide para el tratamiento de niños con TEA?	SI: 5	NO: 0

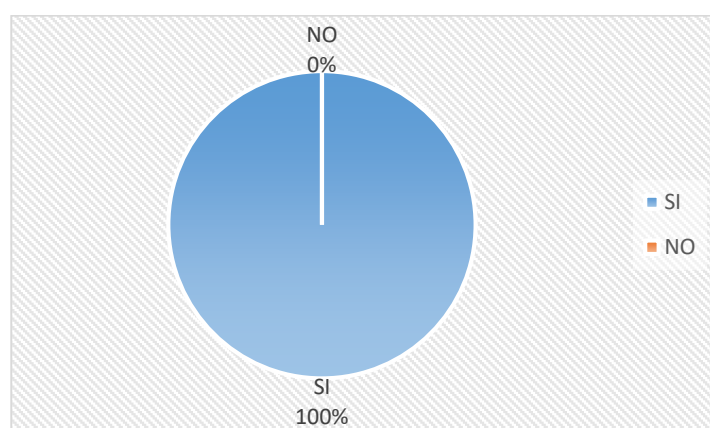
**Tabla 69.**  
*Resultado de preguntas con criterio de evaluación cualitativo.*

N°	Preguntas	Respuestas		
10	¿La interfaz desarrollada para el control del robot animatrónico humanoide es?	MUY BUENA: 3	BUENA: 2	MALA: 0
11	¿La transmisión de texto a voz del robot animatrónico humanoide fue?	MUY BUENA: 3	BUENA: 2	MALAS: 0
12	¿Los juegos de la aplicación multimedia enfocados a los niños con TEA son?	MUY BUENOS: 4	BUENOS: 1	MALOS: 0
13	¿Los movimientos de los brazos del robot animatrónico humanoide fueron?	MUY BUENOS: 5	BUENOS: 0	MALOS: 0
14	¿El control del robot animatrónico humanoide fue?	FÁCIL: 3	MEDIO: 2	DÍFICIL: 0

#### 5.4.1 Interpretación de resultados

- **Pregunta 1**

¿Considera que la robótica social ayuda a la terapia de niños con TEA?

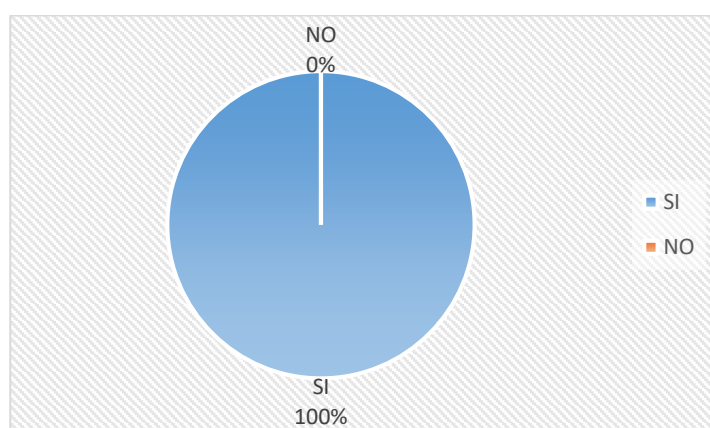


**Figura 87.** Resultados pregunta 1.

En la Figura 87 se detalla los resultados de la pregunta 1, en la cual se manifiesta claramente que la robótica es muy importante en función de la ayuda en la terapia de niños con TEA.

- **Pregunta 2**

¿Es beneficioso aplicar el método TEACCH con ayuda de la robótica y nuevas tecnologías?

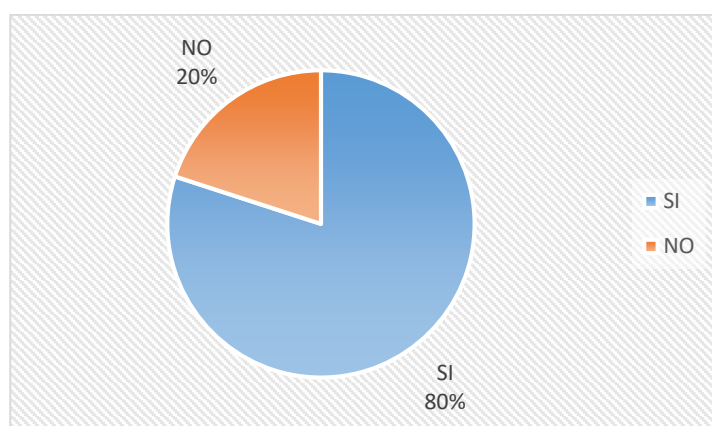


**Figura 88.** Resultados de la pregunta 2.

En los resultados de la pregunta 2 mostrados en la Figura 88, los terapeutas indicaron que la fusión del método Teacch con nuevas tecnologías resultó beneficioso ya que se obtuvo un 100% de aceptación.

- **Pregunta 3**

¿El robot animatrónico humanoide le ayudó a transmitir información a los niños con TEA?

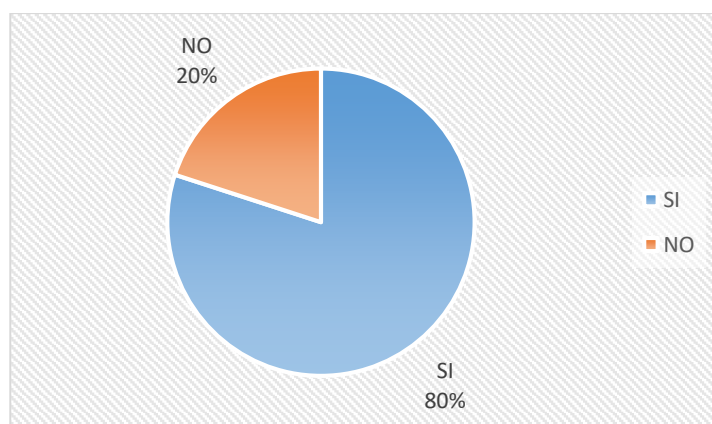


**Figura 89.** Resultados de la pregunta 3.

Del gráfico mostrado en la Figura 89 se aprecia que el 80% de los encuestados indicó que el robot animatrónico humanoide facilita la comunicación entre el terapeuta y el paciente.

- **Pregunta 4**

¿La imitación de movimientos ayudó a la interacción de los niños con TEA?



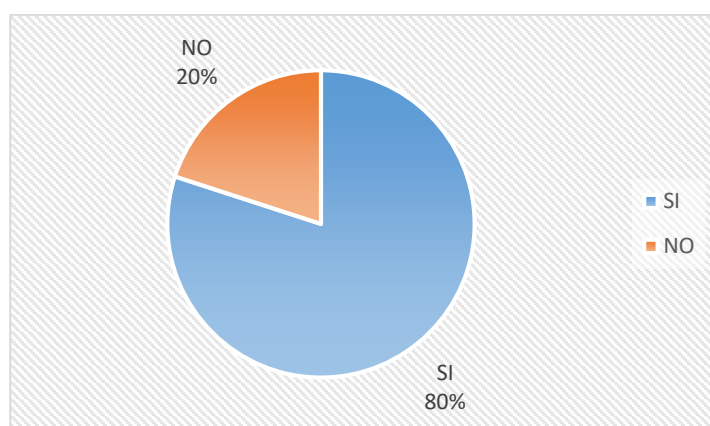
**Figura 90.** Resultados de la pregunta 4.

En la Figura 90 se muestra que el 80% de los encuestados indicaron que la imitación de movimientos del robot animatrónico humanoide ayuda en la interacción con los pacientes.

- **Pregunta 5**

¿El aspecto del robot animatrónico humanoide va acorde a la terapia de niños con TEA?



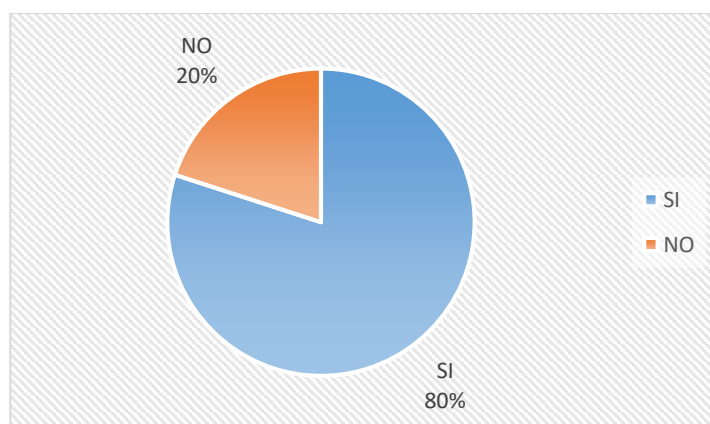


**Figura 91.** Resultados de la pregunta 5.

El 80% de encuestados menciona que el aspecto del robot animatrónico humanoide sirve para la terapia de niños y niñas con TEA como se muestra en la Figura 91.

- **Pregunta 6**

¿La interacción con el niño con TEA mejoró con el robot animatrónico humanoide?

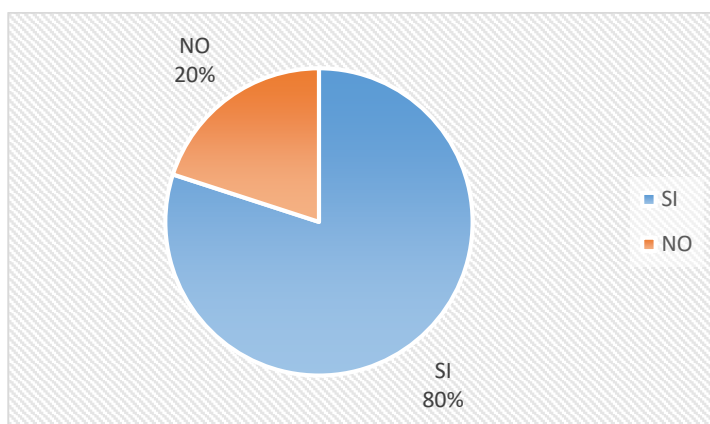


**Figura 92.** Resultados de la pregunta 6.

En la Figura 92 se aprecia que el 80% de los encuestados indica que el niño tuvo mejor interacción con el terapeuta debido a la presencia del robot animatrónico humanoide.

- **Pregunta 7**

¿El robot animatrónico humanoide le ayudó a la terapia de niños con TEA?

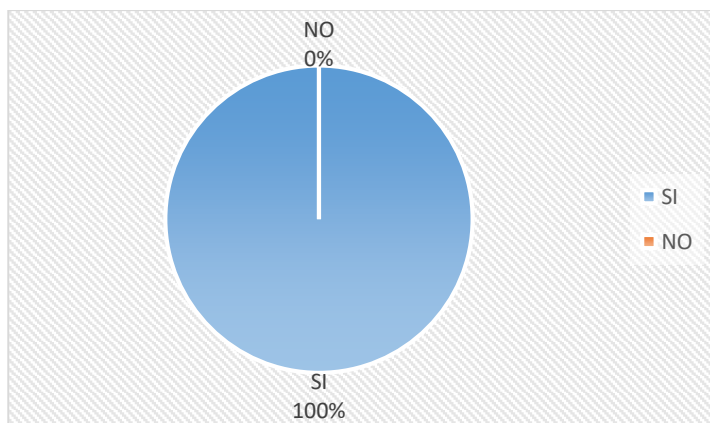


**Figura 93.** Resultados de la pregunta 7.

Se aprecia en la Figura 93 que el 80% de los encuestados indicaron que la presencia del robot animatrónico humanoide fue de utilidad para la realización de la terapia.

- **Pregunta 8**

¿La base de datos le ayudó al seguimiento de la terapia?

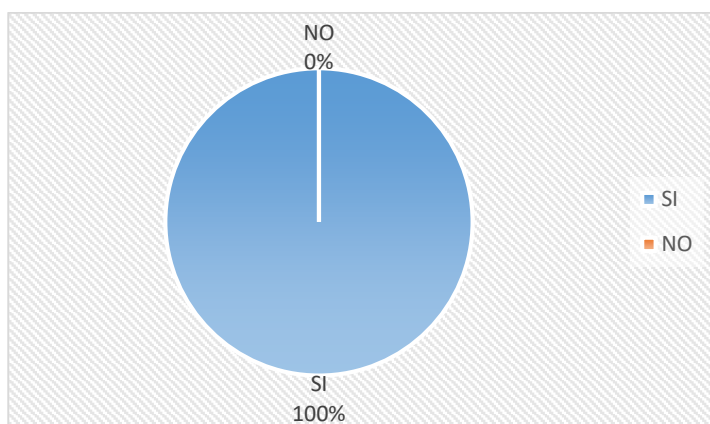


**Figura 94.** Resultados de la pregunta 8.

En la Figura 94 se muestra que el 100% de los encuestados afirman que contar con una base de datos contribuye al seguimiento de la terapia.

- **Pregunta 9**

¿Consideraría el uso del robot animatrónico humanoide para el tratamiento de niños con TEA?

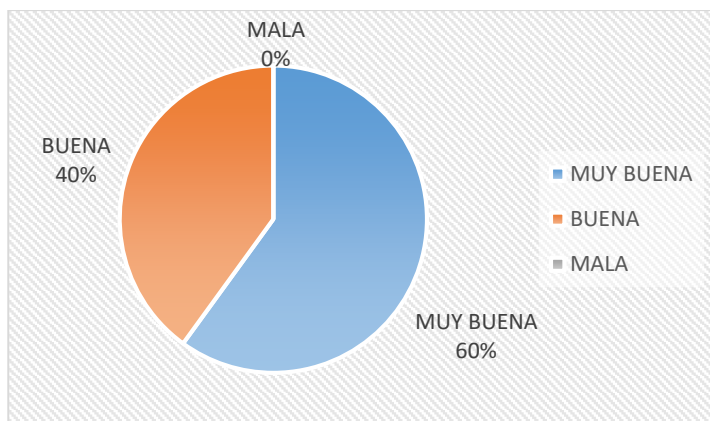


**Figura 95.** Resultados de la pregunta 9.

El uso del robot animatrónico humanoide para el tratamiento de niños y niñas con TEA es aceptado en un 100% por parte de los encuestados, esto se aprecia en la Figura 95.

- **Pregunta 10**

¿La interfaz desarrollada para el control del robot animatrónico humanoide es?

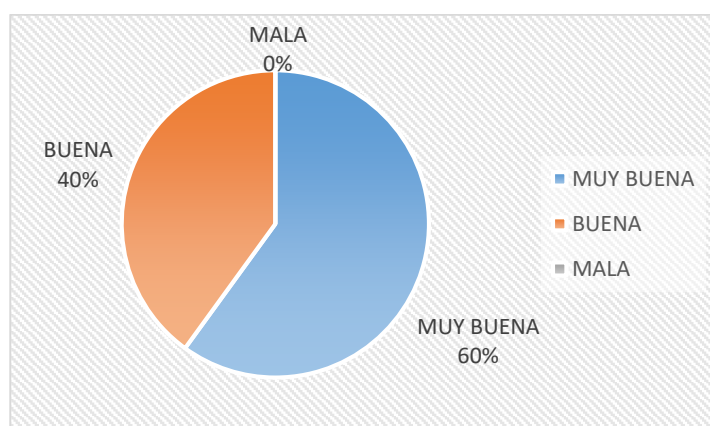


**Figura 96.** Resultados de la pregunta 10.

En la Figura 96 se muestra que el 60% de los encuestados encontraron que la interfaz desarrollada para el control del robot animatrónico humanoide es muy buena, mientras que un 40% afirma que la interfaz es buena.

- **Pregunta 11**

¿La transmisión de texto a voz del robot animatrónico humanoide fue?

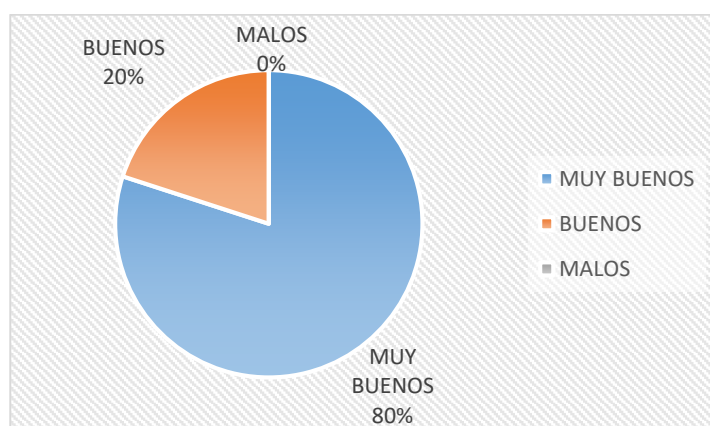


**Figura 97.** Resultados de la pregunta 11.

En la Figura 97 se aprecia que un 60% de los encuestados encontró la transmisión de texto a voz muy buena, y un 40% consideró que es buena. Esto debido al tiempo que se tardan en escribir las palabras que el robot animatrónico humanoide reproduce.

- **Pregunta 12**

¿Los juegos de la aplicación multimedia enfocados a los niños con TEA son?

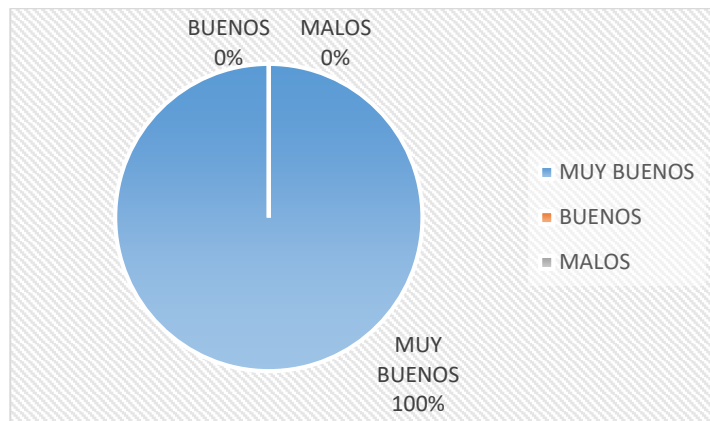


**Figura 98.** Resultados de la pregunta 12.

El 80% de los encuestados indica que los juegos de la aplicación multimedia enfocados a los niños con TEA son muy buenos, mientras que un 20% indica que los juegos son buenos, esto se aprecia en la Figura 98.

- **Pregunta 13**

¿Los movimientos de los brazos del robot animatrónico humanoide fueron?

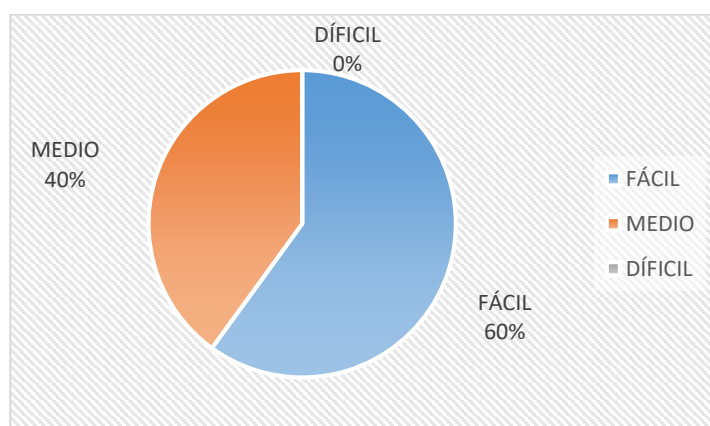


**Figura 99.** Resultados de la pregunta 13.

En la Figura 99 se muestra que un 100% de los encuestados afirma que los movimientos de los brazos del robot animatrónico humanoide fueron muy buenos.

- **Pregunta 14**

¿El control del robot animatrónico humanoide fue?



**Figura 100.** Resultados de la pregunta 14.

En la Figura 100 se observa que el 60% de los encuestados indica que el control del robot animatrónico humanoide fue fácil, mientras que un 40% indicó que el control fue medio.

## **5.5 Validación de la Hipótesis**

Seguido se realizaron las encuestas presentadas obteniendo valoración positiva del robot animatrónico humanoide, cabe mencionar que los especialistas mencionan que desearían tener este robot para las terapias en niños y niñas con síndrome del trastorno del espectro autista. En la Tabla 68 se muestran los resultados de las encuestas.

### **5.5.1 Planteamiento de la Hipótesis**

El diseño, construcción e implementación de un robot animatrónico humanoide mejorará las terapias de los niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista.

### **5.5.2 Variables de Investigación.**

- **Variables Independientes**

Robot animatrónico humanoide.

- **Variables Dependientes**

Terapia de niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista.

### **5.5.3 Validación de la Hipótesis.**

Para validar la hipótesis del proyecto de investigación se usa la aplicación del método estadístico Chi-Cuadrado, el que consiste en comparar la frecuencia observada de datos con la frecuencia esperada. Para este método es necesario definir una hipótesis alternativa y una nula, a continuación, se muestran estas hipótesis:

- H1: El robot animatrónico humanoide mejorará las terapias de niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista.

- H0: El robot animatrónico humanoide no mejorará las terapias de niños y niñas con el síndrome del trastorno del espectro autista.

El cálculo del Chi-Cuadrado se lo hace considerando la información obtenida de preguntas específicas enfocadas en brindar información relevante para el proyecto de las encuestas aplicadas a los terapeutas, en la Tabla 68 se muestran estas preguntas. La variable de análisis de las preguntas es la frecuencia de aceptación, hay que tomar en cuenta que el valor referencial es de 10, las preguntas seleccionadas son 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

**Tabla 70.**  
*Frecuencias observadas.*

N°	Pregunta	Terapeuta	Si cumple	No cumple	Referencias
1		Martha Tenorio	10	0	10
2		Alexandra Aguilar	10	0	10
3	Pregunta 3	Carmen Caisaliti	10	0	10
4		Vanessa Jensen	10	0	10
5		Beatriz Naranjo	0	10	10
6		Martha Tenorio	10	0	10
7		Alexandra Aguilar	10	0	10
8	Pregunta 4	Carmen Caisaliti	10	0	10
9		Vanessa Jensen	0	10	10
10		Beatriz Naranjo	10	0	10
11		Martha Tenorio	0	10	10
12		Alexandra Aguilar	10	0	10
13	Pregunta 5	Carmen Caisaliti	10	0	10
14		Vanessa Jensen	10	0	10
15		Beatriz Naranjo	10	0	10
16		Martha Tenorio	10	0	10
17		Alexandra Aguilar	10	0	10
18	Pregunta 6	Carmen Caisaliti	10	0	10
19		Vanessa Jensen	10	0	10
20		Beatriz Naranjo	0	10	10
21		Martha Tenorio	10	0	10
22		Alexandra Aguilar	10	0	10
23	Pregunta 7	Carmen Caisaliti	10	0	10
24		Vanessa Jensen	0	10	10
25		Beatriz Naranjo	10	0	10
26		Martha Tenorio	10	0	10
27		Alexandra Aguilar	10	0	10
28	Pregunta 8	Carmen Caisaliti	10	0	10
29		Vanessa Jensen	10	0	10
30		Beatriz Naranjo	10	0	10
31		Martha Tenorio	10	0	10
32		Alexandra Aguilar	10	0	10
33	Pregunta 9	Carmen Caisaliti	10	0	10
34		Vanessa Jensen	10	0	10
35		Beatriz Naranjo	10	0	10

CONTINÚA 

Suma Total	300	50	350
------------	-----	----	-----

Una vez tabulados los datos de la frecuencia observada se calcula la frecuencia esperada mediante la ecuación (5.1).

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O} \quad (5.1)$$

Donde:

$E_{ij}$  = Frecuencia esperada

$O_i$  = Frecuencia observada

$O$  = Total

$$E_{ij}(Si) = \frac{10 * 300}{350} = 8,5714$$

$$E_{ij}(No) = \frac{10 * 50}{350} = 1,4286$$

Los datos de la frecuencia esperada se muestran en la Tabla 71.

**Tabla 71.**  
*Frecuencias esperadas.*

N°	Pregunta	Terapeuta	Si cumple	No cumple
1		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
2		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
3	Pregunta 3	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
4		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
5		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
6		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
7		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
8	Pregunta 4	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
9		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
10		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
11		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
12		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
13	Pregunta 5	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
14		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
15		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
16		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
17		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
18	Pregunta 6	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
19		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
20		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286

CONTINÚA 



21		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
22		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
23	Pregunta 7	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
24		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
25		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
26		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
27		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
28	Pregunta 8	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
29		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
30		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
31		Martha Tenorio	8.5714	1.4286
32		Alexandra Aguilar	8.5714	1.4286
33	Pregunta 9	Carmen Caisaliti	8.5714	1.4286
34		Vanessa Jensen	8.5714	1.4286
35		Beatriz Naranjo	8.5714	1.4286
Suma Total			300	50

Al obtener estos resultados se calcula el valor del Chi-Cuadrado utilizando la ecuación (5.2).

$$\lambda^2 = \sum_i \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (5.2)$$

Donde:

$\lambda^2 =$  Chi-Cuadrado

$i =$  Número de filas

$j =$  Número de columnas

Los resultados del Chi-Cuadrado se muestran en la Tabla 72.

**Tabla 72.**  
*Resultado del Chi-Cuadrado.*

N°	Pregunta	Terapeuta	Si cumple	No cumple
1		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
2		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
3	Pregunta 3	Carmen Caisaliti	0.23810556	1.4286
4		Vanessa Jensen	0.23810556	1.4286
5		Beatriz Naranjo	8.5714	51.4272
6		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
7		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
8	Pregunta 4	Carmen Caisaliti	0.23810556	1.4286
9		Vanessa Jensen	8.5714	51.4272
10		Beatriz Naranjo	0.23810556	1.4286
11	Pregunta 5	Martha Tenorio	8.5714	51.4272

CONTINÚA 

12		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
13		Carmen Caisalití	0.23810556	1.4286
14		Vanessa Jensen	0.23810556	1.4286
15		Beatriz Naranjo	0.23810556	1.4286
16		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
17		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
18	Pregunta 6	Carmen Caisalití	0.23810556	1.4286
19		Vanessa Jensen	0.23810556	1.4286
20		Beatriz Naranjo	8.5714	51.4272
21		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
22		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
23	Pregunta 7	Carmen Caisalití	0.23810556	1.4286
24		Vanessa Jensen	8.5714	51.4272
25		Beatriz Naranjo	0.23810556	1.4286
26		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
27		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
28	Pregunta 8	Carmen Caisalití	0.23810556	1.4286
29		Vanessa Jensen	0.23810556	1.4286
30		Beatriz Naranjo	0.23810556	1.4286
31		Martha Tenorio	0.23810556	1.4286
32		Alexandra Aguilar	0.23810556	1.4286
33	Pregunta 9	Carmen Caisalití	0.23810556	1.4286
34		Vanessa Jensen	0.23810556	1.4286
35		Beatriz Naranjo	0.23810556	1.4286
Suma Total			50.0001667	299.994
Chi-Cuadrado			349.994167	

Seguido se calcula el grado de libertad con ayuda de la ecuación (5.3).

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) (\text{cantidad de columnas} - 1) \quad (5.3)$$

$$v = (35 - 1)(2 - 1) = 34$$

Los valores de los puntos porcentuales correspondientes para la distribución del Chi-Cuadrado se muestran en el Anexo E, en este caso se considera un alfa de 0.001, con lo que se obtiene:

$$\lambda^2_{\text{Tabulado}} = 65.2471$$

Para finalizar la validación es necesario comparar este valor con el Chi-Cuadrado calculado, a continuación, se muestra la comparación:

$$\lambda^2_{\text{Calculado}} \geq \lambda^2_{\text{Tabulado}}$$

$$349.994167 \geq 65.2471$$

Por lo tanto, el robot animatrónico humanoide mejorará la terapia de niños y niñas con trastorno del espectro autista.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones.

- El robot animatrónico humanoide posee seis grados de libertad, es capaz de imitar los movimientos de los brazos, reproduce cualquier palabra escrita, tiene una interfaz gráfica en la que se proyectan 12 juegos para la terapia de niños y niñas con TEA y se opera a través de otra interfaz gráfica intuitiva por parte del terapeuta.
- La construcción y el acabado del cuerpo del robot animatrónico humanoide fue hecha con fibra de vidrio para que sea muy similar a un cuerpo humano brindando calidad y estética, los componentes de los brazos fueron construidos mediante impresión 3D.
- Los componentes del robot animatrónico humanoide fueron seleccionados a través de la metodología del diseño concurrente con criterios ponderados, lo cual permitió una eficiente selección de las alternativas de diseño, satisfaciendo los requerimientos planteados.
- La interfaz gráfica del terapeuta se realizó en el software Processing que posee lenguaje en C, y la interfaz gráfica del usuario es desarrollada en Android Studio con ayuda del complemento Flutter en lenguaje Dart, cabe mencionar que ambas tienen un diseño intuitivo y los programas utilizados son de código abierto, lo que disminuye el costo, pero no la calidad.
- El robot animatrónico humanoide para niños y niñas con TEA ayuda en la terapia ya que sirve como una interfaz tecnológica llamativa entre el terapeuta y el usuario, haciendo que la transmisión de información sea captada de mejor manera por parte del niño.

- La robótica social aplicada a niños y niñas con TEA es una herramienta prometedora para el desarrollo de terapias.
- Las primeras pruebas se realizaron por los autores y el tutor, validando el correcto funcionamiento de los objetivos planteados, posteriormente con ayuda de la Lcda. Martha Tenorio, especialista en el tema, se prueba el robot animatrónico humanoide en niños y niñas con TEA, concluyendo una valoración positiva para la terapia.
- La valoración experimental se la realiza en niños y niñas con TEA con dos sesiones por semana durante tres semanas, los niños y niñas muestran interacción positiva con el robot, lo que provoca que la terapia sea más entretenida y fácil por parte de los terapeutas. Con ayuda de la base de datos se obtiene información de progreso del niño, y se consiguen menos errores al avanzar el tiempo.

## **6.2 Recomendaciones.**

- Es necesario que el terapeuta sepa manejar correctamente el robot animatrónico humanoide y que siempre esté presente en la interacción con el fin de precautelar la seguridad del niño.
- Utilizar el robot animatrónico humanoide en un ambiente con iluminación para que no existan problemas de reconocimiento de movimiento de los brazos.
- Se recomienda considerar intervalos de descanso entre cada juego, con el fin de evitar cansancio o frustración en el niño.
- Implementar una pantalla más grande en la interfaz gráfica del robot y aumentar el número de juegos en la aplicación multimedia, con el fin de evitar fatigas y redundancia en las terapias.

- Crear y añadir expresiones gestuales en la cabeza del robot animatrónico humanoide, para que posea un aspecto más humano y tenga más impacto visual en los niños y niñas con TEA.
- Incrementar los grados de libertad del robot animatrónico humanoide para que se muevan todas las extremidades, de tal manera que se puedan generar más movimientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad, K., Sanchez, M., Crespo, J., & Alvarado, J. (2017). Sistemas de reconocimiento en la robótica social. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 332-343.
- Almachi, M. (2017). *Influencia del método TEACCH en la enseñanza a estudiantes con trastorno del espectro autista (TEA) en la Unidad Educativa Anne Sullivan*. Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- American Psychiatric Association. (2014). *Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales DSM-5*. Panamá: Panamericana.
- Android Developers. (2019). *Android Developers*. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de <https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419>
- Android Developers. (2019). *Android Developers*. Recuperado el 30 de Junio de 2019, de <https://developer.android.com/studio/features>
- Argote, I., Jiménez, R., Enríquez, D., & Ceballos, D. (2016). Desarrollo de Apps: un estudio comparativo entre frameworks libres y privativos. *Boletín Informativo CEI*, 2(3), 44-45.
- Autismo La Garriga. (2016). *Autismo la Garriga*. Obtenido de <https://www.autismo.com.es/autismo/que-es-el-autismo.html>
- Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). *Dimensiones Antropométricas Población Latinoamericana*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- AZOM. (30 de Agosto de 2001). *AZO MATERIALS*. Recuperado el 28 de Junio de 2019, de <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=764>

- Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de Proyectos*. México DF: McGraw Hill.
- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de Robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Bonilla, M. F., & Chaskel, R. (2016). Trastorno del espectro autista. *Curso continuo de actualización en pediatría*, 19-29.
- Cabaynes, J. (2004). identificación y diagnóstico precoz de los trastornos del espectro autista. *Neurol*, 81-90.
- Cardona, V. (2015). *Robots Sociales y Autismo. Propuesta de intervención en el contexto educativo*. Mallorca.
- Cepeda, V., Rubio, A., Farías, L., & Sáenz, A. (2018). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de materiales poliméricos para re-uso en impresiones 3D. *CienciAcierta No 55*.
- Céspedes, M. (2017). Características de las placas arduino. *bit@bit Vol 2*, 1-6.
- Cruz, A. (2014). EN APLICACIONES MECATRÓNICAS ¿MOTOR O SERVOMOTOR? *Upiita*.
- Cuadrado, T. (2018). *Consellería de Educación, Universidade e Formación Profesional*. Recuperado el 22 de Julio de 2019, de <http://www.edu.xunta.gal/centros/ceipfogarcaballo/system/files/TEACCH.pdf>
- Cuxart, F. (2000). *El autismo aspectos descriptivos y terapeuticos*. Málaga: Aljibe.



- Dautenhahn, K., Nehaniv, C., Walters, M., Robins, B., Kose-Bagci, H., Mirza, N., & Blow, M. (2009). KASPAR-a minimally expressive humanoid robot for human-robot interaction research. *Applied Bionics and Biomechanics*, 369-397.
- Del Medico, A. (s.f.). Propiedades mecánicas de componentes fabricados mediante modelado por deposición fundida. *Grado en Ingeniería Mecánica*. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.
- DEOK. (2019). *Stmargaretsaspley*. Recuperado el 22 de Junio de 2019, de <http://stmargaretsaspley.co.uk/libro/B00H09HO2Q.html>
- Espinosa, V. (2 de Abril de 2018). *Ecuador Chequea*. Recuperado el 18 de Julio de 2019, de <http://www.ecuadorchequea.com/2018/04/03/autismo-ecuador-veronicaespinosa-cifras-ministeriodesalud/>
- Figueredo, A., Ortíz, A., Martínez, E., & Palomino, L. (2018). Softcar, Software educativo para el cálculo relacional como apoyo a la asignatura de base de datos. *Didasc@lia Vol.9*, 145-156.
- Fortea, M., Escandell, M., Castro, J., & Martos, J. (2015). Desarrollo temprano del lenguaje en niños pequeños con trastorno del espectro autista mediante el uso de sistemas alternativos. *Neurol*, 31-35.
- García, A. (02 de Diciembre de 2016). *PANAMAHITEK*. Recuperado el 02 de Junio de 2019, de <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- García, D. (18 de Noviembre de 2013). *YOROKOBU*. Obtenido de <https://www.yorokobu.es/robots-sociales-que-ayudan-a-ninos-autistas/>

- García, R. (2015). *Diseño de una Aplicación Multimedia para mejorar el desarrollo de los alumnos con trastorno del Espectro Autista*. Barcelon: Universidad Internacional de la Rioja.
- Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2014). Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles. *Tecnura Vol. 18*, 20-35.
- Gómez, D. (2010). *Modelo de gestión estratégica utilizando como herramienta el balance scorecard aplicado a la fábrica La casa del maniquí de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.
- González, C. (2015). Aplicaciones orientadas a la domótica con Raspberry Pi. *Ingeniería de las tecnologías de comunicación*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Gorby, K. (30 de Mayo de 2019). *Luna's Puppets*. Obtenido de <https://www.lunaspuppets.com/puppets/>
- Govea, E., González, G., Rocha, J., Hernández, S., Chávez, A., & Castillo, J. (2014). Diseño Cinemático y Construcción de un Robot Humanoide con Movimientos Básicos de Caminado. *IEEE ARGENCON*, 119-124.
- Grupo de estudio de trastornos del espectro autista del Insituto de Salud Carlos III. (2006). Guía de buena práctica para el tratamiento de los trastornos del espectro autista. *Neurol*, 425-438.
- Guaypatin, O., Borja, B., Villa, M., Roldán, A., & Tapia, G. (2019). Robot humanoide controlado por sensores IMU y ópticos en el contexto de las nuevas tecnologías en la educación. *BOLETÍN REDIPE*, 185-192.

- He, D.-T., & Guo, Y. (2016). Finite Element Analysis of Humanoid Robot Arm. *URAI*, 772-776.
- Hé Hernández, C. (Julio de 2008). *Animatrónica, una aproximación a partir de su diseño y construcción*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de Research Gate.
- Hervás, A., & Sánchez, L. (Febrero de 2014). *Sociedad Española de Pediatría Extrahospitalaria y Atención Primaria*. Obtenido de [https://www.sepeap.org/wp-content/uploads/2014/02/Ps\\_inf\\_autismo\\_espectro\\_autista.pdf](https://www.sepeap.org/wp-content/uploads/2014/02/Ps_inf_autismo_espectro_autista.pdf)
- Honda. (2019). *Honfs*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de <https://www.honda.mx/asimo/>
- Jennings, S. (2002). Motores Paso a Paso. *SENA*, 47-58.
- Kirandziska, V., & Nevena, A. (2014). A concept for building more humanlike social robots and their ethical consequence. *Computer Science and Information Systems*, 19-37.
- Koro, G. (2017). *Aprendizaje en robots sociales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lamas, A. (2001). *BVSDE*. Recuperado el 30 de Junio de 2019, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/congreso/pilas.pdf>
- Lewansoul. (11 de Agosto de 2017). *Dropbox*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <https://www.dropbox.com/sh/b3v81sb9nwir16q/AABHb3nPSC7uUFfrnu30RyrCa?dl=0>
- Lewansoul. (2017). *Lewansoul*. Recuperado el 18 de Mayo de 2019, de <http://www.lewansoul.com/product/detail-17.html>
- López, C., & Ochoa, D. (2017). *Universidad Andina del Ecuador*. Obtenido de <http://www.uasb.edu.ec/documents/62049/1751294/Determinaci%C3%B3n+Social+d>

el+Autismo+en+el+Ecuador+-+Catalina+Lopez+%28Universidad+Andina+-  
+Ecuador%29/d33ba25c-c7aa-4dbd-8724-54e38844edd4

López, J. (2016). Control por gestos usando Leap Motion. *Especialista en sistemas embebidos*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Jalisco.

López, J., Ramírez, J., Cervantes, F., Camarillo, K., Louvier, J., & Hernández, C. (2018). Reducción del tiempo de ciclo en un molde de inyección de plásticos implementando sistemas de enfriamiento con sección transversal circular y rectangular. *Pistas Educativas Vol. 40*, 1743-1757.

Mena, R., López, E., & Zepeda, S. (2015). *Hola Mundo con Processing*. México D.F.: Colección una década.

Mendoza, V., & Veintimilla, M. (2018). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL INTERACTIVO PARA CAPTAR LA ATENCIÓN DE NIÑOS CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA*. SANGOLQUÍ.

Metalium. (2013). *Metalium*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de <https://metalium.mx/aluminio/aluminio-3003/3003>

Meza, J. (11 de Enero de 2012). *Blog de Jorge Meza*. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de <https://blog.jorgeivanmeza.com/2012/01/construccion-de-la-libreria-simple-openni-para-processing-bajo-ubuntu-de-32-bits/>

Microsoft. (2019). *Microsoft*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect>

Miskam, M., Shamsuddin, S., Abdul, M., Yussof, H., Ahmad, H., & Rahman, A. (2014). Humanoid Robot NAO as a Teaching Tool of Emotion Recognition for children with

- Autism using the Android App. *International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, 1-5.
- MIT App Inventor. (2019). *MIT App Inventor*. Recuperado el 23 de Junio de 2019, de <https://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html>
- Monsalve, E., & Ladino, L. (2016). *Programa de procesamiento de imágenes adquiridas por medio del sensor kinect para determinar la posibilidad una víctima en determinada zona*. Bogotá: Universidad Distrital "Francisco José de Caldas".
- Mulas, F., Ros-Cervera, G., Millá, M., Etchepareborda, N., Abad, L., & Téllez de Meneses, M. (2010). Modelos de intervención en niños con autismo. *Rev Neurol* 2010, 77-84.
- Nejat, G., & Ficocelli, M. (2008). "Can I be of assistance? The intelligence behind an assistive robot" . *Robotics and Automation*, 3564-3569.
- Noboa, L. (Junio de 2017). *Entra a mi Mundo*. Obtenido de <http://www.entraamimundo.org/el-autismo/>
- Ocio, S. (Enero de 2017). *Universidad de Oviedo*. Obtenido de <https://www.unioviado.es/psiquiatria/wp-content/uploads/2017/01/Psicoeducaci%C3%B3n.pdf>
- Ollero, A. (2005). *Robótica: Manipuladores y robots móviles*. Barcelona: Marcombo.
- OMS. (27 de Enero de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- OMS. (Abril de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs396/es/>

- Pangborn, J., & MacDonald, S. (2005). *Autismo: Tratamientos biomédicos efectivos*. San Diego.
- Paniagua, A., Naranjo, L., & D'Agostino, C. (2015). *EXPERIENCIA PILOTO CON LEGO Y ROBOTS PARA EL DESARROLLO DE LA INTERACCIÓN SOCIAL EN NIÑOS Y JÓVENES CON AUTISMO*. Buenos Aires.
- Parallax. (2019). *Parallax*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <https://www.parallax.com/product/30016>
- Pardo, L. (2010). *Neoteo*. Recuperado el 02 de Junio de 2019, de <https://www.neoteo.com/los-mejores-proyectos-de-kinect/>
- Perales, M., Barrero, F., & Toral, S. (2016). Análisis comparativo de distintas plataformas para la enseñanza de Sistemas Electrónicos Digitales. *TAAE*, 26-33.
- Pérez, A. (2012). *Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de [http://catedraunescoinclusion.org/wp-content/uploads/Documents\\_Reports/kinect/manualUsuarioKinect.pdf](http://catedraunescoinclusion.org/wp-content/uploads/Documents_Reports/kinect/manualUsuarioKinect.pdf)
- Pérez, M. (2015). *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/49086/1/00-ESQUEMAS.pdf>
- Posada, J., Villanueva, J., Castillo, M., & Molina, S. (2013). Control de un brazo robótico usando el hardware kinect de microsoft. *Prospect*, 88-93.
- Processing. (2019). *Processing*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de <https://processing.org/reference/libraries/serial/index.html>

- Quemada, M., Alcaraz, L., Ruíz, G., & Rodríguez, R. (2017). Revisión del estado del arte de la fabricación de multimateriales por medio de impresión 3D. *Pistas Educativas Vol 39*, 441-451.
- Reas, C., & Fry, B. (2007). *Processing A programming Handbook for Visual Designers and Artists*. Londres: MIT.
- Reichler, R., & Lee, E. (1987). Overview of the americal issues in autism. *Neurobiological issues in autism*, 14-43.
- Riba, C., & Molina, A. (2006). *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Riviere, A. (25 de Septiembre de 1997). *Universidad Autónoma de Madrid*. Obtenido de [https://personal.us.es/cvm/docs/Desarrollo%20normal%20y%20Autismo\\_Angel%20Riviere\\_1.pdf](https://personal.us.es/cvm/docs/Desarrollo%20normal%20y%20Autismo_Angel%20Riviere_1.pdf)
- Rodríguez, A., & Rodríguez, M. (2002). Diagnóstico Clínico del Autismo. *Neurol*, 72-77.
- Rubio, J. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS CON EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)*. SANGOLQUÍ.
- Ruiz de Garibay Pascual, J. (23 de Mayo de 2019). *Robótica: Estado del arte*. Obtenido de Academia: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/5533677/robotica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558659821&Signature=4zP%2FeLCndY4DBZf7YPPijtgDRA4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DRobotica\\_Estado\\_del\\_arte.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/5533677/robotica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558659821&Signature=4zP%2FeLCndY4DBZf7YPPijtgDRA4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DRobotica_Estado_del_arte.pdf)

- Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (2013). *Introducción a la Robótica*. Santiago: Universidad de Chile.
- Sabanovic, S., Bennett, C., Chang, W., & Huber, L. (2013). PARO Robot Affects Diverse Interaction Modalities in Group Sensory Therapy for Older Adults with Demencia. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 1-6.
- Saleh, N. (02 de Mayo de 2019). *Verywell health*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de <https://www.verywellhealth.com/paro-the-therapeutic-robot-seal-1123855>
- Samsung. (2019). *Samsung*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <https://www.samsung.com/es/smartphones/sm-t3100zwaphe/>
- Sánchez, F. (2011). Terapia sensoriomotriz del trauma. *Revista Digital de Medicina Psicosomática y Psicoterapia*, 1-32.
- Secretaría de la Salud. (2012). *Diagnóstico y Manejo de los Trastornos del Espectro Autista*. México: IMSS.
- Secretaría de la Salud. (02 de Diciembre de 2015). *Cenetec*. Obtenido de [http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/029\\_GPC\\_NinoSan/IMSS\\_029\\_08\\_EyR.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/029_GPC_NinoSan/IMSS_029_08_EyR.pdf)
- Silva, H. (2014). DSM-5: Nueva clasificación de los trastornos mentales. *Revista chilena de Neuro-Psiquiatría*, 7-8.
- Sojamo. (30 de Julio de 2015). *Sojamo*. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de <http://www.sojamo.de/libraries/controlP5/#features>
- Somrak, A. (26 de Julio de 2018). *NEW REALITY*. Recuperado el 06 de Mayo de 2019, de <https://newreality.si/kinect-senzor-microsoft-hololens/>



- Suárez, O. (2016). *Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables*. Gran Canaria.
- Sunsky. (2019). Obtenido de <http://gcn.my/product/csl-dc-12v-power-supply-aluminum-4/>
- Troncoso, J. (8 de Septiembre de 2017). *OHMYGEEK*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de <https://ohmygeek.net/2017/09/08/ask-nao-autismo/>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México: McGraw Hill.
- Vargas, M., & Navas, W. (2012). Autismo Infntil. *Cúpula*, 44-58.
- Vélez, P., & Quingatuña, A. (2014). Robot socialmente asistencial y de interacción multimodal autónoma. *inge@UAN*, 15-24.
- Zepeda, H., & Mendez, M. (2016). Aplicaciones multimedia para el fortalecimiento de competencias laborales. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 1-16.
- Zerón, Y. (2007). *Animatronic controlado con lógica difusa*. México: Universidad la Salle A.C.

# ANEXOS



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **Cadena Patiño, Galo Fernando** y el señor **Oleas Montesdeoca, Humberto David**.

En la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de Noviembre del 2019.

.....  
**Ing. Andrés Gordón  
DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

.....  
**Ing. Darío Mendoza  
DIRECTOR DE CARRERA**



.....  
**Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADÉMICO**

