



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT QUE CLASIFIQUE
TARJETAS CON RUTINAS BASADAS EN PICTOGRAMAS PARA NIÑOS
CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA) A TRAVÉS DE
VISIÓN ARTIFICIAL**

AUTORES:

CAICEDO MUÑOZ, CARLOS ANÍBAL

MALDONADO JARAMILLO, CHRISTIAN MANUEL

DIRECTOR: ING. MEJÍA CAMPOVERDE, PAÚL HERNÁN

SANGOLQUÍ

2019



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT QUE CLASIFIQUE TARJETAS CON RUTINAS BASADAS EN PICTOGRAMAS PARA NIÑOS CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA) A TRAVÉS DE VISIÓN ARTIFICIAL”* fue realizado por los señores *Caicedo Muñoz Carlos Anibal* y *Maldonado Jaramillo Christian Manuel*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29 de abril del 2019

Ing. Paúl Hernán Mejía Campoverde

C. C.: 1714090386



DEPARTAMENTO DECIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Caicedo Muñoz Carlos Anibal*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "*Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial*" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 29 de abril del 2019

.....
Carlos Anibal Caicedo Muñoz

C. C.: 1718165127



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Maldonado Jaramillo Christian Manuel*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "*Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial*" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 29 de abril del 2019

Christian Manuel Maldonado Jaramillo

C. C.: 1721233458



DEPARTAMENTO DECIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, *Caicedo Muñoz Carlos Anibal* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “*Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial*” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 29 de abril del 2019

.....
Carlos Anibal Caicedo Muñoz

C. C.: 1718165127



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

AUTORIZACIÓN

Yo, *Maldonado Jaramillo Christian Manuel* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "*Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial*" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 29 de abril del 2019

Christian Manuel Maldonado Jaramillo

C. C.: 1721233458

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres, hermanas y sobrinos/as, por estar en los momentos buenos y malos durante cada ciclo de mi vida.

Carlos Anibal Caicedo Muñoz

DEDICATORIA

Dedico el desarrollo de este proyecto a mi madre Flor Jaramillo por su esfuerzo, sacrificio y apoyo que me brindó para culminar esta etapa de mi vida.

A Sandra Jaramillo por el apoyo incondicional, quien ha estado en cada momento crítico de la carrera.

A mi familia y amigos por el ánimo y respaldo que me permitieron culminar la carrera.

Christian Manuel Maldonado Jaramillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la fuerza para alcanzar esta meta y las que vendrán.

A mi madre Flor por mostrarme que con esfuerzo, trabajo, responsabilidad y constancia se puede alcanzar los sueños. Por su amor y apoyo que han sido el motor que me impulsó a cumplir esta meta en mi vida.

A mis amigos que han estado en el transcurso de estos años apoyándome y animándome para lograr culminar esta etapa.

A mi tía Sandra por el apoyo desde tan lejos y por estar pendiente de mí, en la vida y en la carrera.

A mi tutor de tesis Ing. Paúl Mejía por guiarnos con su experiencia a realizar un trabajo de calidad. Por compartir sus conocimientos y su constante seguimiento.

Christian Manuel Maldonado Jaramillo

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser el soporte en cada etapa de mi vida y por darme aliento para cumplir con los objetivos que me he planteado.

A mis padres Jaime y Rocío por el apoyo que siempre me han brindado, y convertirme en la persona que soy ahora. Además agradezco por sus enseñanzas para cumplir mis metas y siempre superarme en todos los aspectos de la vida.

A mis hermanas Karina, Lorena, Karla y Pamela por estar siempre a mi lado y ser modelos a seguir. También por los consejos en los momentos que más los necesitaba.

A mis sobrinos/as por incentivar me a ser un ejemplo a seguir para ellos, y así brindarles las enseñanzas que he tenido durante el transcurso de la vida.

Finalmente agradezco a mis amigos por hacer que el camino sea más divertido y por acompañarme en todo momento.

Carlos Anibal Caicedo Muñoz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e importancia	5
1.3 Alcance.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Descripción general del proyecto.....	9
1.6 Estructura del documento	11
CAPÍTULO 2.....	12
2 ESTADO DEL ARTE	12
2.1 Trastorno del Espectro Autista (TEA)	12
2.1.1 Origen del término	12

2.1.2	Definición y especificaciones de gravedad del TEA	13
2.1.3	Intervenciones conductuales y educativas	14
2.1.4	Trastorno del Espectro Autista en Ecuador	15
2.2	Robótica.....	17
2.2.1	Evolución de la robótica.....	18
2.2.2	Robots sociales	20
2.2.3	Robots terapéuticos	21
2.3	Interacción humano robot.....	24
2.3.1	Modos de entrada de información.....	26
2.3.2	Modos de salida de información	27
2.3.3	Antropomorfismo de un robot	28
2.4	Tecnología como puente de educación en el TEA.....	29
2.4.1	Objetivos de comunicación en terapias de TEA y dispositivos de apoyo tecnológico	30
2.4.2	Tecnología y TEA	30
2.5	Visión Artificial	32
2.5.1	Fases de un sistema de visión artificial	33
2.5.2	Aumento y reducción de contraste.....	34
2.5.3	Filtros espaciales	35
2.5.4	Espacio de color.....	36
2.5.5	Segmentación.....	37
2.5.6	Open CV	38
CAPÍTULO 3.....		40
3	DISEÑO.....	40
3.1	Requerimientos del sistema	40
3.1.1	Identificación de las necesidades	41
3.1.2	Elaboración de la lista de métricas.....	41
3.1.3	Matriz de necesidades-métricas	42
3.2	Planteamiento de especificaciones.....	44
3.3	Arquitectura del sistema	44
3.4	Selección de conceptos.....	46
3.4.1	Módulo Estructura del robot.....	46

3.4.2	Módulo Estructura del área de trabajo	49
3.4.3	Módulo Movimiento	52
3.4.4	Módulo Control.....	60
3.4.5	Módulo Eléctrico y Electrónico	62
3.4.6	Módulo Visión Artificial	70
3.4.7	Módulo Tratamiento - Interacción	75
3.4.8	Módulo Identificación de proceso	81
3.5	Concepto Final de Diseño	84
3.6	Diseño y análisis	85
3.6.2	Diseño mecánico	85
3.6.3	Diseño electrónico.....	99
3.6.4	Diseño simulado.....	100
CAPÍTULO 4.....		106
4.	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	106
4.1	Construcción.....	106
4.1.1	Construcción mecánica	106
4.1.2	Construcción electrónica	109
4.1.3	Pictogramas	112
4.2	Ensamblaje.....	115
4.2.1	Análisis dimensional y pruebas modulares	119
4.3	Programación.....	121
4.3.1	Comunicación.....	123
4.3.2	Selección de rutina	124
4.3.3	Detección de colores	125
4.3.4	Seguimiento de tarjetas	127
4.3.5	Aplicación móvil.....	128
4.3.6	Máquina de estados.....	129
4.4	Protocolo de pruebas	130
4.4.1	Participantes.....	131
4.4.2	Procedimiento	131
4.5	Pruebas de Funcionamiento.....	132

4.5.1 Pruebas piloto	132
4.5.2 Pruebas en el Centro.....	134
CAPÍTULO 5.....	140
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
5.1 Conclusiones.....	140
5.2 Recomendaciones	142
5.3 Trabajos futuros	143
6. BIBLIOGRAFÍA.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Niveles de gravedad del trastorno del espectro autista</i>	14
Tabla 2 <i>Necesidades del usuario para el robot y su importancia relativa</i>	41
Tabla 3 <i>Lista de métricas del sistema</i>	42
Tabla 4 <i>Matriz de necesidades-métricas</i>	43
Tabla 5 <i>Especificaciones del proyecto</i>	44
Tabla 6 <i>Arquitectura modular del sistema</i>	45
Tabla 7 <i>Ponderación de criterios para la fabricación de la estructura del robot</i>	47
Tabla 8 <i>Ponderación de conceptos de la fabricación de la estructura</i>	48
Tabla 9 <i>Selección de concepto para el tipo de fabricación de la estructura del robot</i>	49
Tabla 10 <i>Ponderación de criterios para material de la estructura del área de trabajo</i>	51
Tabla 11 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del material del área de trabajo</i>	51
Tabla 12 <i>Selección de concepto para el material del área de trabajo</i>	52
Tabla 13 <i>Ponderación de criterios para el tipo de mecanismo del cuello</i>	54
Tabla 14 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del tipo de mecanismo del cuello</i>	55
Tabla 15 <i>Selección de concepto para el tipo de mecanismo del cuello</i>	56
Tabla 16 <i>Ponderación de criterios para el tipo de mecanismo del dispensador</i>	58
Tabla 17 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del mecanismo dispensador</i>	58
Tabla 18 <i>Selección de concepto para el tipo de mecanismo del dispensador</i>	59
Tabla 19 <i>Ponderación de criterios para el software de control</i>	61
Tabla 20 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el software de control</i>	61
Tabla 21 <i>Selección de concepto para el software de control</i>	62
Tabla 22 <i>Ponderación de criterios para la placa de desarrollo</i>	63
Tabla 23 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio de la placa de desarrollo</i>	64
Tabla 24 <i>Selección de concepto para la placa de desarrollo</i>	65
Tabla 25 <i>Ponderación de criterios para la selección de motores</i>	66
Tabla 26 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del motor</i>	67
Tabla 27 <i>Selección de concepto para el motor</i>	67
Tabla 28 <i>Ponderación de criterios para la selección de sensores</i>	69
Tabla 29 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del sensor</i>	69

Tabla 30 <i>Selección de concepto para el sensor.</i>	70
Tabla 31 <i>Ponderación de criterios para filtro de detección y seguimiento de colores.</i>	73
Tabla 32 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio del filtro de detección de colores.</i> ...	74
Tabla 33 <i>Selección de concepto para el filtro de detección y seguimiento de colores</i>	74
Tabla 34 <i>Ponderación de criterios para el diseño estético del robot</i>	76
Tabla 35 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el diseño estético del robot</i>	77
Tabla 36 <i>Selección de concepto para el diseño estético del robot</i>	78
Tabla 37 <i>Ponderación de criterios para el software de desarrollo de la App</i>	79
Tabla 38 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el software de la App</i>	80
Tabla 39 <i>Selección de concepto para el software de desarrollo de la App</i>	80
Tabla 40 <i>Ponderación de criterios para el tipo de tecnología de identificación de procesos</i>	82
Tabla 41 <i>Ponderación de conceptos frente a cada criterio para la identificación de procesos</i> ..	83
Tabla 42 <i>Selección de concepto para el tipo de tecnología de identificación de procesos</i>	84
Tabla 43 <i>Concepto final del diseño</i>	84
Tabla 44 <i>Parámetros Denavit-Hartenberg</i>	86
Tabla 45 <i>Componentes principales del sistema</i>	101
Tabla 46 <i>Componentes de robot</i>	102
Tabla 47 <i>Componentes del dispensador</i>	103
Tabla 48 <i>Componentes del área de trabajo</i>	105
Tabla 49 <i>Comparativa de diseño e impresión de los elementos de la estructura</i>	107
Tabla 50 <i>Análisis dimensional del robot</i>	119
Tabla 51 <i>Pruebas modulares del robot</i>	119
Tabla 52 <i>Detalle de participantes</i>	131
Tabla 53 <i>Tiempo estimado de acción</i>	133

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Robot KASPAR interactuando con un niño	2
<i>Figura 2.</i> Robot iCat demostrando diferentes emociones	3
<i>Figura 3.</i> Robot Willow	4
<i>Figura 4.</i> Menú principal de la aplicación PICTOAPRENDE	5
<i>Figura 5.</i> Robot “FRANKIE” con sus componentes	9
<i>Figura 6.</i> Robot Shakey	18
<i>Figura 7.</i> Robot aspiradora Roomba.....	19
<i>Figura 8.</i> Robot Urbano	20
<i>Figura 9.</i> Robot ZENO	22
<i>Figura 10.</i> Tarjetas para el estudio de emociones	23
<i>Figura 11.</i> Robot Keepon.....	23
<i>Figura 12.</i> El sistema de interacción entre humano y robot	24
<i>Figura 13.</i> Sistema de diálogo multimodo	25
<i>Figura 14.</i> Robot Maggie	26
<i>Figura 15.</i> Interacciones del robot Maggie mediante salidas de voz y tacto	28
<i>Figura 16.</i> Valle inexplicable propuesto por Mori	29
<i>Figura 17.</i> Diagrama de bloques de la visión artificial.....	33
<i>Figura 18.</i> Representación gráfica del desarrollo basado en prototipos	34
<i>Figura 19.</i> Funciones a) lineal b) cuadrada y c) raíz cuadrada	34
<i>Figura 20.</i> Aplicación de un filtrado espacial a) Original b) Suavizado	35
<i>Figura 21.</i> Filtrado de contornos a) Original b) Sobel.....	36
<i>Figura 22.</i> Ejemplo de segmentación de una imagen en color a) Original b) Segmentación	38
<i>Figura 23.</i> Estructura de OpenCV	39
<i>Figura 24.</i> Articulaciones del robot NAO.....	53
<i>Figura 25.</i> Mecanismo esférico 3 grados de libertad.....	54
<i>Figura 26.</i> Sistema Biela-Manivela.....	56
<i>Figura 27.</i> Mecanismo de tornillo sin fin.....	57
<i>Figura 28.</i> Sistema RGB	71

Figura 29. Sistema CMYK	72
Figura 30. Sistema HSV	72
Figura 31. AIBO.....	76
Figura 32. Cinemática directa del robot	86
Figura 33. Gráfica del Torque 1 vs Ángulo	91
Figura 34. Mecanismo biela-manivela del dispensador	92
Figura 35. Brazo colineales caso 1	93
Figura 36. Brazos colineales caso 2	93
Figura 37. Gráfica de velocidad para el diseño.....	94
Figura 38. Gráfica de aceleración para el diseño	95
Figura 39. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en cuerpo	95
Figura 40. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte de motor en cuello	96
Figura 41. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte U de motor en cuello	97
Figura 42. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte de pantalla.....	97
Figura 43. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en la base del robot.....	98
Figura 44. Vista esquemática del circuito de acondicionamiento.....	99
Figura 45. Diseño de PCB	100
Figura 46. Vista 3D de placa.....	100
Figura 47. Diseño final del sistema	101
Figura 48. Diseño de robot simulado	102
Figura 49. Diseño de dispensador simulado	103
Figura 50. Diseño del área de trabajo simulado.....	104
Figura 51. Diseño CAD de la estructura del robot.....	106
Figura 52. a) Colocación de macilla b) Pulido c) Pintado d) Acabado superficial.....	108
Figura 53. a) Corte láser en MDF b) Bandeja con grabado de rutina	109
Figura 54. a) Sensor QRD1114 y esquema b) Circuito de acondicionamiento	110
Figura 55. a) Lector RFID b) Bandeja con etiqueta.....	110
Figura 56. Soportes de servomotor	111
Figura 57. a) Disposición de actuadores en el cuello b) Soportes implementados	112
Figura 58. a) Rutina Orinar b) Rutina Cepillarse los dientes c) Rutina Corte de cabello	114

Figura 59. a) Pictogramas de Orinar (Hombre) b) Cepillado de dientes y c) Corte de cabello .	115
Figura 60. Sensores, botones y cableado de elementos electrónicos	116
Figura 61. a) Soportes de servomotores b) Tablet en carcasa y tapa de cabeza del robot.....	117
Figura 62. a) Mecanismo biela manivela b) Dispensador c) Estructura del robot en la base ...	118
Figura 63. Aspecto del robot "Frankie"	121
Figura 64. Diagrama de flujo general del robot	122
Figura 65. Comunicación entre módulos del robot	124
Figura 66. Diagrama de flujo de selección de rutinas	125
Figura 67. Diagrama de flujo de la detección de colores	126
Figura 68. a) Detección de color y ubicación de centroide b) Máscara y c) Malla en ROS	127
Figura 69. Diagrama de flujo para seguimiento de tarjetas	128
Figura 70. Emociones de a) y b) felicidad c) asombro d) tristeza.....	129
Figura 71. Máquina de estados del robot.....	130
Figura 72. Demostración inicial.....	130
Figura 73. Prueba piloto	133
Figura 74. Prueba rutina a) orinar b) cepillado de dientes con el niño 1	134
Figura 75. Prueba de a) cepillado b) orinar con el niño 2.....	135
Figura 76. Prueba rutina corte de pelo a) inicio y b) final del proceso con el niño 3	136
Figura 77. Prueba rutina cepillado a) inicio b) final con el niño 2 en la sesión 4	137
Figura 78. Prueba rutina orinar a) inicio y b) final con el niño 4.....	138
Figura 79. Conclusión de sesiones de pruebas con niño 5 y especialista	139

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra a detalle la implementación de un robot que clasifica tarjetas con pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial. Se desarrolló un robot social de aspecto humanoide y rasgos caricaturescos, con colores de bajo contraste como son el blanco y pequeños detalles de azul, que mediante gestos, imágenes, frases, sonidos y movimientos guía al usuario a colocar de forma ordenada las tarjetas de procesos rutinarios que para los niños que padecen autismo leve son considerados los más críticos. Además, el robot mediante visión artificial realiza un seguimiento de cada tarjeta y lo representa con un movimiento en su cuello, aumentando así la interacción. El documento empieza con el Capítulo 1 en el que se detalla la justificación, antecedentes y objetivos, continúa con el Capítulo 2 en el que se muestra el estado del arte que concierne para este trabajo, el Capítulo 3 contiene todo el diseño, mostrando los materiales de fabricación, cálculos matemáticos y la estructura final simulada. En el Capítulo 4 vemos todo lo referente a la construcción del sistema con sus herramientas y toda la lógica de programación, además de pruebas realizadas con un universo de usuarios. El Capítulo 5 finalmente nos muestra las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBOT SOCIAL**
- **TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**

ABSTRACT

The present work shows the implementation of a robot that classifies cards with pictograms for children with Autism Spectrum Disorder (ASD) through artificial vision. A humanoid-looking social robot and caricatured features were developed, with low contrast colors such as white and small details of blue, which through gestures, images, phrases, sounds and movements guide the user to place the process cards in an orderly manner routine what for children suffering from mild autism are considered the most critical. In addition, the robot through artificial vision keeps track of each card and represents it with a movement in its neck, thus increasing the interaction. The document begins with Chapter 1, which details the justification, background and objectives, continues with Chapter 2, which shows the state of the art that concerns this work, Chapter 3 contains the entire design, showing the materials of manufacturing, mathematical calculations and the simulated final structure. In Chapter 4 we see everything related to the construction of the system with its tools and all the logic of programming, in addition to tests carried out with a universe of users. Chapter 5 finally shows us the conclusions, recommendations and future work.

KEY WORDS:

- **SOCIAL ROBOT**
- **AUTISTA SPECTRUM DISORDER**
- **ARTIFICIAL VISION**

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Este apartado contiene antecedentes, objetivos, justificación y la importancia del desarrollo del robot social con fines terapéuticos y didácticos para niños con trastorno del espectro autista, se utiliza reseñas de otros robots que se enfocan en este tema, además se establece el alcance del proyecto en el que se detalla el diseño del robot.

1.1 Antecedentes

El trastorno del espectro autista es una condición de vida que requiere de atención psiquiátrica, neuropediátrica y total apoyo familiar. Dicha condición daña la capacidad de cualquier persona para comunicarse y relacionarse con los demás, requiriendo tratamientos especializados. (Starmedia, 2017)

La historia de la robótica terapéutica se remonta al año 1989, donde Saldaño la fundamenta en la creación de robots, para desarrollar de forma didáctica, habilidades motoras y cognitivas en los niños. (Mariela Chavarría, 2010)

En los últimos años los investigadores han explorado el uso de robots para alcanzar los objetivos terapéuticos específicos para niños que presenten autismo. Robots y otros dispositivos tecnológicos se han sugerido como herramientas para ayudar en el diagnóstico precoz del autismo (García, 2013). John-John Cabibihan, Doctor en Robótica Biomédica, en su artículo “Making robots persuasive” menciona que “los robots en desarrollo enfocados para tareas de rehabilitación van más allá de la detección y el diagnóstico”. (Cabibihan, 2011)

La robótica y la visión artificial cada día van más ligadas, en muchas de las aplicaciones de robótica es necesario un sistema de visión artificial que envíe al controlador del robot las coordenadas del producto y que informe de productos no válidos, o distinga entre varios productos para que el robot pueda clasificarlos.

Para solventar problemas consecuentes del autismo, los científicos de la Universidad de Hertfordshire en Londres desarrollaron el proyecto “Kaspar” mostrado en la Figura 1. Se basa en un robot cubierto con placas de silicona que se asemejan a la piel humana, con el propósito de que los niños con autismo se acostumbren a tocar a otras personas. El robot utiliza frases como: “hola mi nombre es Kaspar, juguemos juntos” y se ríe cuando le tocan los pies, levanta y baja los brazos, entre otras funciones para llamar la atención de estos niños. (Mundo, 2011)



Figura 1. Robot KASPAR interactuando con un niño
Fuente: (Nichols, 2018)

En el 2005 Philips Electronics desarrolló un robot de interfaz de usuario llamado iCat. Este robot puede representar mecánicamente varias expresiones faciales, por lo que es ideal para

estudiar la interacción entre humanos y robots. El robot iCat se utiliza para motivar y fomentar la investigación entre las interacciones entre humanos y robots, más específicamente sobre la robótica social, la colaboración entre humanos y robots, la atención conjunta y actividades didácticas. El software OPPR (Open Platform for Personal Robot) permite que este robot responda a diferentes estímulos. Actualmente, este robot está disponible y se vende solo a universidades e instalaciones de investigación (Philips Electronics, 2005). Como se muestra en la Figura 2.

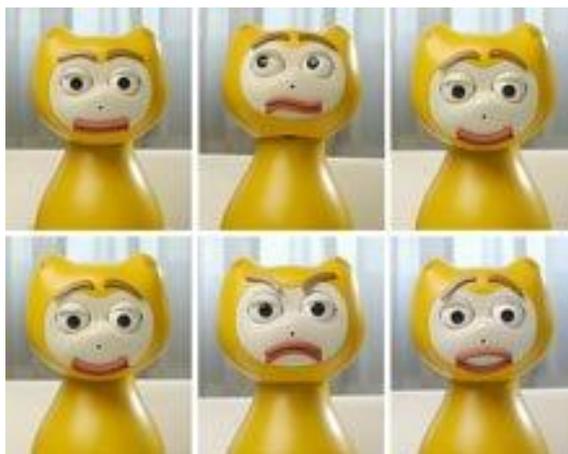


Figura 2. Robot iCat demostrando diferentes emociones
Fuente: (Philips Electronics, 2005)

En el 2017 Vallejo (ESPOCH, 2017) presentó su proyecto “Willow” para participar en el Hult Prize de Dubái. El proyecto es el primer robot terapéutico ecuatoriano hecho para ayudar a niños con problemas de autismo y síndrome de Asperger que busca mejorar la comunicación y terapia de niños refugiados de todo el mundo. Ver Figura 3.



Figura 3. Robot Willow
Fuente: (Vallejo, 2017)

Tobar (ESPE, 2015) desarrolló “PCTOAPRENDE”, el cual es un software interactivo orientado a niños y jóvenes con trastorno del espectro autista, mediante el cual se mejora el proceso verbal en los mismos, y de cierta manera mejora la interacción con el medio. “PCTOAPRENDE” cuenta con siete opciones las cuales son:

- **PictoAcciones:** enseñan secuencias de cuidado personal diario y están representadas por pictogramas, método que ayuda a la comunicación expresiva como el uso de horarios y otras ayudas visuales.
- **PictoOraciones:** ayudan a reducir la falta de comunicación oral con el despliegue de frases cotidianas.
- **PictoNúmeros:** es una opción que enseña números naturales del 0 al 9 junto con su pronunciación en español. Esta alternativa ayuda a la memorización y mediante la repetición, así como su correcta pronunciación.

- **PictoVocales:** Las vocales son una parte integral del proceso de aprendizaje para leer y escribir.
- **PictoAnimales:** ayuda a estimular su sensibilidad auditiva y facilitar el proceso de aprendizaje. Esta aplicación incluye 10 sonidos de mascotas diferentes y se reproducen tocando la pantalla.
- **PictoMensajes:** permite al usuario comunicarse con miembros de la familia, maestros o personas que están a cargo de su cuidado y educación. Hace advertencias a través de mensajes de texto o correos electrónicos previamente establecidos.
- **Números de emergencia:** esto les enseña a los usuarios los números de teléfono más importantes que pueden ayudar en el caso de que haya un problema o emergencia en Ecuador. Ver Figura 4.



Figura 4. Menú principal de la aplicación PICTOAPRENDE

Fuente: (Tobar, 2015)

1.2 Justificación e importancia

La principal afección para los niños con trastorno del espectro autista es la interacción con las personas de su entorno. Esta desafortunada condición trae consigo situaciones que perjudican, no

solo a la parte psicológica por la falta de interés en interactuar con el alrededor, sino también a la pérdida de comunicación y comportamiento restringido y repetitivo, por lo que implica dificultad para el seguimiento de rutinas. (CONADIS, 2016)

En el año 2013, la Asociación Americana de Psiquiatría (APA) publica la quinta versión del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, el DSM-5; en el cual se clasifica al autismo dependiendo la gravedad en comunicación y comportamientos restringidos y repetitivos, y tiene los siguientes niveles:

- Grado 1: "Necesita ayuda".
- Grado 2: "Necesita ayuda notable".
- Grado 3: "Necesita ayuda muy notable" (American Psychiatric Association, 2013).

La ejecución de rutinas y procesos definidos representa una necesidad en los seres humanos. Por lo que es importante tomar en cuenta cuales son los factores que despiertan dicho interés. Es por este motivo que se propone el presente proyecto, el cual pondrá en práctica la clasificación de tarjetas que presentan rutinas basadas en pictogramas mediante enseñanza para los niños con trastorno del espectro autista.

Con la integración de la tecnología y las necesidades que tiene la población con TEA se aporta con el plan nacional del buen vivir, al mejorar la calidad de vida de los mismos.

Otra meta que pretende cumplir este proyecto es contribuir a la investigación en la universidad a través del uso de nuevas tecnologías, adoptando herramientas de código abierto, las cuales tienen la capacidad de que cualquier persona pueda leer, redistribuir y modificar el código fuente de una aplicación, además de la utilización de equipos de bajo costo y fácil accesibilidad.

1.3 Alcance

Los niños que padecen de TEA generalmente tienen dificultad al momento de expresar una idea o sentimiento, también pueden sentirse en conflicto a la hora de seguir instrucciones o comprender un mensaje. Ellos poseen un sentido visual mayormente desarrollado, por lo que la utilización de imágenes, fotografías y también dibujos se pueden convertir en una vía de comunicación muy eficiente. (CERQANA, 2017)

Se construirá un sistema didáctico que contenga un robot con la capacidad de guiar a niños con TEA a ordenar tarjetas, las cuales contendrán en forma de pictogramas, los pasos en el proceso de alguna rutina cotidiana, el robot tendrá una apariencia amigable y con colores que eviten la pérdida de interés del niño hacia él.

Este sistema deberá estar provisto de un dispensador, el cual irá dotando de forma unitaria y regulada cada tarjeta con el fin de que el niño las vaya ordenando en el proceso sobre una matriz ubicada en el área de trabajo. Esta matriz tendrá como fondo una bandeja intercambiable para diferentes procesos con la imagen de cada pictograma con el fin de facilitar la tarea, por recomendación de un especialista se ha seleccionado las rutinas de: “Ir al baño”, “Cortarse el cabello” y “Cepillarse los dientes”. Cada proceso en las bandejas podrá ser identificado gracias al uso de tecnología RFID.

El robot tendrá una cámara que permita la identificación y localización de cada tarjeta, lo cual permitirá realizar un seguimiento visual transmitido a los motores logrando así que el robot siga

la tarjeta a través del movimiento del cuello mientras el niño la coloca, lo que se interpreta como un rasgo familiar para el usuario, facilitando el proceso mientras recibe la guía del robot.

La pantalla del robot mostrará las expresiones al hablar, con frases que guíen de forma concisa y clara a la colocación de cada tarjeta, además animen al niño en el proceso si comete algún error y pidiendo que lo intente nuevamente, además mostrará imágenes del lugar donde se realice la rutina, con el fin de familiarizar al paciente.

Asimismo, con la elaboración del proyecto se espera que el impacto de nuevas tecnologías hacia los tratamientos terapéuticos sea de mayor afluencia, aportando al desarrollo e investigación de proyectos de la Universidad hacia la sociedad, fomentando la idea de que se puede realizar proyectos de calidad dentro del país a un bajo costo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con trastorno del espectro autista (TEA) a través de visión artificial.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Implementar un sistema didáctico que permita a los niños aprender rutinas mediante tarjetas con pictogramas.
- Diseñar un robot social que oriente al usuario a colocar las tarjetas de forma ordenada mediante frases y movimientos de forma didáctica.

- Enfocar la visión artificial hacia el seguimiento de las tarjetas que se refleje en el movimiento del cuello para facilitar la interacción con el usuario.
- Construir un diseño estéticamente adecuado para el ambiente educacional de niños con TEA.

1.5 Descripción general del proyecto

El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un robot social que oriente la clasificación de forma ordenada de tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con trastorno del espectro autista mediante el uso de visión artificial. El robot tiene un aspecto delicado con rasgos humanoides y con colores adecuados para los niños con TEA, el robot lleva por nombre “FRANKIE”. Para su construcción se concretó en el uso de la impresión en 3D para la estructura del cuerpo y cabeza, y para el área de trabajo y material didáctico el corte a láser. El robot tiene una altura de 65 cm. Se puede apreciar el robot en la Figura 5 con sus componentes.

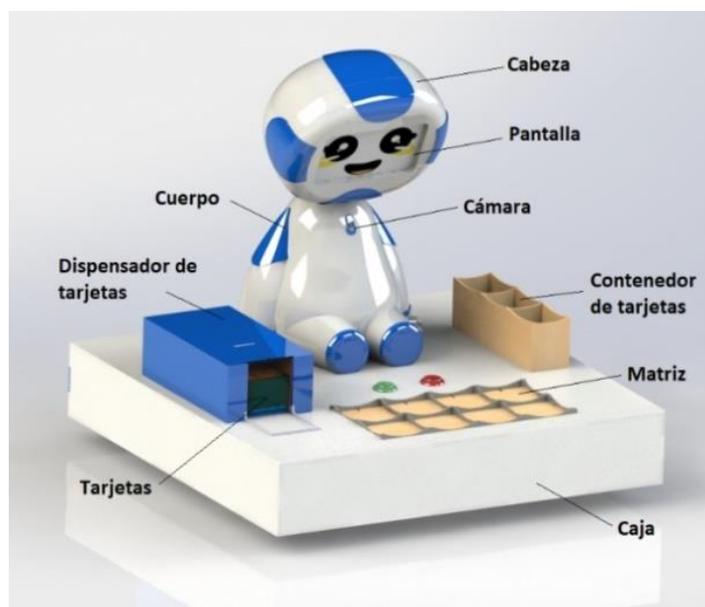


Figura 5. Robot “FRANKIE” con sus componentes

El robot tendrá la capacidad de guiar a niños con trastorno del espectro autista para ordenar tres diferentes procesos, los que estarán representados en forma de pictogramas en tarjetas y en bandejas intercambiables en la matriz para facilitar la colocación de cada tarjeta. El robot podrá interactuar con el usuario expresando frases que ayuden a la distribución ordenada de las tarjetas, incluso si se equivoca. Además, para que los niños se relacionen más con el proceso se presentará en la pantalla los lugares a los que concierna cada uno, acompañado de frases didácticas.

Otras de las características del robot será poder identificar qué proceso se va a realizar al ingresar la bandeja debido a que cada una tiene un sticker RFID¹, que permite la identificación individual de cada una mediante ondas de radio, los procesos en los que se enfoca el robot son “Ir al baño”, “Cepillarse los dientes” y “Cortarse el cabello”. También a un costado del robot estará un dispensador donde se colocarán las tarjetas, y que mediante un sistema de biela manivela, se distribuirán de forma individual.

El robot tiene la facultad de mover la cabeza siguiendo a la tarjeta cuando se la está ubicando en la matriz, gracias a un algoritmo de visión artificial implementada en una cámara RGB ubicada de forma discreta en el pecho, lo que permite captar las 8 diferentes tarjetas y realizar un seguimiento visual de cada una. Este movimiento le suma una característica en tiempo real como lo haría un ser humano, lo que ayuda al niño en la interrelación con el robot.

¹ RFID: identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification)

1.6 Estructura del documento

Este documento está estructurado en 5 capítulos. El capítulo 1 muestra la información introductoria sobre el proyecto, como son sus antecedentes, justificación, alcance, objetivos, y descripción general. El capítulo 2 contiene una reseña de los proyectos e investigaciones relacionadas con el tema del presente proyecto.

La identificación de las necesidades del usuario, planteamiento de especificaciones, arquitectura, selección de conceptos, además del diseño mecánico y electrónico del sistema están contemplados en el capítulo 3; para el capítulo 4 encontraremos evidencias fotográficas del proceso de construcción y pruebas realizadas como producto final del diseño planteado, que cumplan con los requerimientos del usuario.

Para el capítulo final se muestra las conclusiones y recomendaciones basándose en el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, además de observaciones para trabajos futuros; incluirá también los anexos correspondientes al proyecto.

CAPÍTULO 2

2 ESTADO DEL ARTE

El capítulo presenta los principales conceptos relacionados en la implementación de un robot para niños con TEA (Trastorno del Espectro Autista). Se analiza la evolución, interacción y los distintos tipos de tecnología implementada en la robótica terapéutica enfocada en el aprendizaje de rutinas a través de pictogramas.

Por último, el desarrollo de la visión artificial para la interacción con el niño a través de estímulos visuales.

2.1 Trastorno del Espectro Autista (TEA)

2.1.1 Origen del término

El concepto de autismo ha variado con el pasar del tiempo, por lo que en la actualidad se lo refiere con el término “trastornos del espectro autista” (TEA), debido a la afeción cognitiva y lenguaje.

En 1943, Kanner publicó el artículo titulado “Alteraciones autísticas de contacto afectivo”, relacionando por primera vez el término y aplicándolo a niños con desarrollo socioemocional atípico (Reynoso, Rangel, & Melgarb, 2017).

El Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM) y la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE), son los manuales más utilizados para la clasificación y diagnóstico de enfermedades mentales. Tanto en el DSM-1 (1952), como en el DSM-2 (1968), el autismo era definido como un síntoma de la esquizofrenia. El DSM-3 (1980), se lo considera

como categoría de enfermedad. El DSM-4 (1994) y el DSM-4-TR (2000) clasifican al autismo bajo tres categorías diagnósticas: alteración en la interacción social; alteración en la comunicación; y patrones de comportamiento, intereses y actividades restringidos, repetitivos y estereotipados. En la versión más reciente del manual, el DSM-5 (2013), se fusionan todos los subtipos del autismo antes mencionados, en una sola categoría: trastornos del espectro autista (Bonilla & Chaskel, 2017).

2.1.2 Definición y especificaciones de gravedad del TEA

El autismo es un conjunto de alteraciones heterogéneas a nivel neuronal que inicia en la infancia y permanece durante toda la vida. Incluye alteraciones en la comunicación e interacción social y en los comportamientos, intereses y actividades. Las personas con autismo tienen perfiles cognitivos atípicos, de modo que tienen dificultad en la percepción social y en el procesamiento de la información. La evaluación es multidisciplinaria y la detección temprana es esencial para una intervención rápida, que debe estar dirigida a mejorar la comunicación social y reducir la ansiedad y la agresión (Bonilla & Chaskel, 2017).

La última versión del Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, el DSM-5, recomienda como primer paso para el tratamiento del TEA, especificar la gravedad actual, es decir, medir los deterioros en la comunicación social y observar los patrones de comportamiento. Mediante un estudio de población bastante amplio, se dividió los niveles de gravedad como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1
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 social verbal y no verbal, con un comportamiento muy limitado y una respuesta mínima a la apertura social de los otros.	Inflexibilidad del comportamiento, extrema dificultad para afrontar cambios u otros comportamientos restringidos/repetitivos. Ansiedad/dificultad intensa al cambiar el foco de interés o la conducta.
Grado 2: “Necesita ayuda notable”	Deficiencias notables en habilidades de comunicación social; problemas sociales que son aparentes incluso con apoyos y respuestas reducidas a la apertura social de otros	Inflexibilidad del comportamiento, dificultades para afrontar el cambio u otras conductas y aparecen con la frecuencia suficiente como para ser obvias a un observador no entrenado.
Grado 1: “Necesita ayuda”	Sin ayuda, las dificultades de comunicación social causan alteraciones importantes. Puede parecer que su interés por 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, 2017)

2.1.3 Intervenciones conductuales y educativas

La mejor manera de elaborar un plan de trabajo es tomar en cuenta la evaluación de habilidades y establecer una meta de desarrollo, para pensar en los medios necesarios para

alcanzarla. El tratamiento debe tener una estrategia que estimule, controle o mejore conducta o comunicación.

El tratamiento temprano es el método más eficaz en la intervención terapéutica. Tiene dos ejes fundamentales, el análisis de la conducta y su modificación, y el incremento de las habilidades comunicativas y del lenguaje.

En el análisis de la conducta se plantean objetivos pequeños y alcanzables y se hacen intentos modulando la conducta hasta alcanzarlos y premiarlos, haciendo evidente el previo conocimiento-acción y consecuencia. Mientras la estimulación del lenguaje en los niños consiste en evaluar las habilidades de la vida diaria, atención compartida, petición, estrategias utilizando juegos y reforzadores positivos. Los sistemas incluyen apoyos visuales, dispositivos y programas que aumentan los canales de comunicación.

La modulación y el condicionamiento de las conductas ante sensaciones aplicadas a situaciones ambientales que estimulen cualquier sentido, ya sean táctiles, visuales o auditivas, ayudan a la modulación de la conducta (Reynoso, Rangel, & Melgarb, 2017).

2.1.4 Trastorno del Espectro Autista en Ecuador

Leyes y reglamentos

En las leyes y reglamentos ecuatorianos se estipulan los derechos que tienen las personas con discapacidad y las obligaciones que tienen el estado ecuatoriano y la sociedad con ellos.

Las leyes de la Constitución de la República del Ecuador (2008), la Ley Orgánica de Educación Intercultural LOEI (2011), la Ley de Discapacidades (2012) y el Código de la Niñez y Adolescencia (2003), son un sustento a nivel educativo en relación a la discapacidad y a sus necesidades educativas. En las mismas se evidencia, que en el Ecuador, sí se considera a la discapacidad como una problemática actual a ser tomada en cuenta, y, que es un mandato legal que estas personas accedan al sistema educativo con todas las modificaciones que se requieran realizar para lograr su inclusión. En relación al TEA, sólo en la LOEI se refiere al “Autismo” y “Síndrome de Asperger” como una necesidad educativa (Arroyo Staël, 2014).

Estudios de población

En el Ecuador no hay estudios actuales sobre el número de personas diagnosticadas con Trastorno de Espectro Autista, sin embargo, hay varias investigaciones que pueden servir de referencia.

El 10 de abril de 2014 en la página web de autismo diario, se publicitaron las “Jornadas Formativas Internacionales en el Espectro del Autismo y Comunicación Aumentativa en Ecuador”, en la cual indican que el CONADIS les dio a conocer que según el último censo del 2011, existen 816.156 personas con discapacidad de los cuales 103.767 en cambio tienen una discapacidad intelectual, pero no hay una cifra exacta de personas con trastorno autista (Arroyo Staël, 2014). Este dato aproximado evidencia la dificultad de acceder a las personas con TEA y puedan recibir una ayuda oportuna y adecuada.

La Federación Ecuatoriana Pro Atención a la Persona con Discapacidad Intelectual, Parálisis Cerebral, Autismo y Síndrome de Down (FEPAPDEM) tiene registrados 5 centros que trabajan exclusivamente con TEA.

2.2 Robótica

La robótica es una ciencia que apareció en los años 60, y es actualmente un concepto de dominio público y de gran interés para la comunidad educativa. Hoy en día los avances de la tecnología hacen posible que la robótica esté al alcance de todos. Existen incluso kits orientados exclusivamente a niños que permiten crear robots con características similares a las que tendría uno creado en un laboratorio tecnológico, pero de una forma más fácil y sencilla, y con aplicaciones en la educación.

Al escuchar las palabras “Robótica” o “Robot”, lo primero que se viene a la mente es algún aparato electrónico con partes mecánicas y con tecnología informática. Muchas películas y juguetes hacen uso de esta noción, y muestra un concepto futurista. En otros ámbitos más simples, un robot se visualiza como una prótesis o una herramienta de trabajo.

Con el paso de los años, la robótica ha evolucionado y se ha incorporado en muchos campos de la ciencia, demostrando mucho potencial en nuevas aplicaciones (Serrano Jiménez & Guch Alemán, 2013).

2.2.1 Evolución de la robótica

Si nos remontamos a lo largo de la historia, los seres humanos siempre han tratado de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos mediante máquinas, a las cuales se denominó autómatas. Asimov publicó en 1942 “The Caves of Steel” (Koro Irusta, 2017), en la que enunció por primera vez sus tres leyes de la robótica:

1. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con inacción, permitir que un ser humano sufra daño.
2. Un robot ha de obedecer las órdenes recibidas de un ser humano, excepto si tales órdenes entran en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia mientras tal protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

En los años 50 y 60 empiezan las investigaciones en universidades y se desarrollan los primeros robots móviles, con cierto grado de autonomía. El primer robot de este tipo fue Shakey, el cual se muestra en la Figura 6 y que fue desarrollado por el Stanford Research Institute.

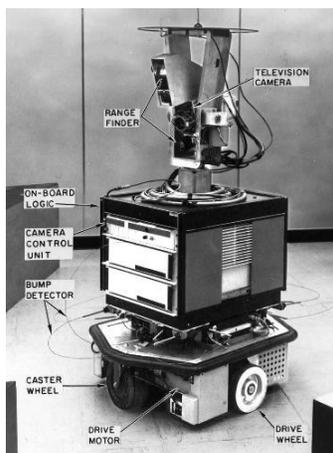


Figura 6. Robot Shakey
Fuente: (Koro Irusta, 2017)

Durante los 40 últimos años, la robótica ha avanzado en todos los ámbitos en los que convive el ser humano, creándose robots humanoides y robots de entretenimiento. Por ejemplo, Roomba (ver Figura 7) es un robot para tareas domésticas.



Figura 7. Robot aspiradora Roomba
Fuente: (iRobot, 2018)

En la actualidad, los robots están en las áreas de producción en todo tipo de industria, como sustituto de los humanos en tareas repetitivas y hostiles (actividades de riesgo). La evolución de la robótica se centra en mejorar la movilidad, destreza y autonomía de sus acciones. Además de una mayor interacción con los seres humanos, por ejemplo, sillas para personas discapacitadas, o para la educación de las personas usando los robots sociales, mediante el estudio de las expresiones faciales y el lenguaje (Koro Irusta, 2017). Debido al proyecto a realizar se centrará en lo que son los robots sociales.

La robótica es una tecnología con futuro y también para el futuro. Existirán unidades que cumplan todo tipo de propósito y va de la mano con el desarrollo de sensores para que los robots

puedan ver, oír, desplazarse por sus propios medios, etc. Las posibilidades serán infinitas (Serrano Jiménez & Guch Alemán, 2013).

2.2.2 Robots sociales

Un robot social es aquel que se comunica con las personas siguiendo una serie de comportamientos y normas sociales. Este tipo de robot debe poseer sistemas perceptivos robustos y habilidades que se agrupan dentro de lo que se conoce como inteligencia social, es decir, capacidades como la comunicación, la comprensión y el aprendizaje.

Este tipo de robot se encuentra aún en fase de investigación, aunque se los puede ver más seguido para la rehabilitación o acompañamiento de personas enfermas o los robots guía, como Urbano, el robot social desarrollado por el grupo de investigación de Control Inteligente de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, como se ve en la Figura 8.



Figura 8. Robot Urbano
Fuente: (Koro Irusta, 2017)

Según Breazeal (Koro Irusta, 2017), se dividen en cuatro grupos según la complejidad del escenario en que se produce la interacción, los cuales son:

- **Los robots socialmente educativos:** pueden ser las "mascotas" robóticas, es decir, cuando el humano atribuye la capacidad de respuesta social al robot, pero su comportamiento no se corresponde con la realidad.
- **Los robots de interfaz:** utilizan un modo de comunicación de tipo humano para facilitar la interacción con las personas. Para ello se apoya en gestos, expresiones, etc.
- **Los robots receptivos:** este tipo los robots que aprenden a través del entrenamiento ya sea del movimiento o del habla. Este tipo de robots son socialmente pasivos.
- **Los robots sociables:** son aquellos con sus propias metas y motivaciones internas. Tratan de involucrar a las personas de una manera social no sólo para el beneficio de las mismas, sino para beneficiarse ellos mismos, por ejemplo, para aprender (Koro Irusta, 2017).

El presente proyecto se enfoca en robots sociales, específicamente en el campo terapéutico y educativo debido al objetivo del mismo.

2.2.3 Robots terapéuticos

La robótica terapéutica en su mayoría se enfoca en alcanzar objetivos con los niños con autismo debido a su comportamiento social. En los últimos años han surgido dispositivos tecnológicos para ayudar a un diagnóstico y detectar de manera temprana el autismo. John-John Cabibihan, doctor en Robótica Biomédica, en su artículo "Making robots persuasive" (Cabibihan,

2011) menciona que “los robots en desarrollo enfocados para tareas de rehabilitación van más allá de la detección y el diagnóstico”.

Para solventar los problemas, (Costa S. , Soares, Pereira, & Moreira, 2012), en la conferencia internacional acerca de robótica biomédica y biomecatrónica, publican un artículo cuyo objetivo es identificar los principales aspectos a ser considerados cuando se trabaja con robots y niños con TEA con la ayuda del robot Zeno (ver Figura 9), así se busca ayudar al niño con el reconocimiento de emociones mediante expresiones faciales y que atraiga su atención.



Figura 9. Robot ZENO

Fuente: (Giges, 2014)

Costa (2014) mejoró el prototipo utilizando el robot Zeca (Zeno Engaging Children with Autism), el experimento ayuda a identificar emociones a los niños mediante tarjetas y el rostro del robot, y dependiendo la elección del infante, “Zeca” responde con frases. Las tarjetas utilizadas cuentan con un código QR que permite al robot detectar las respuestas del niño, se las puede ver en la Figura 10.



Figura 10. Tarjetas para el estudio de emociones
Fuente: (Costa S. , Soares, Pereira, Santos, & Hiolle, 2014)

KEEPON (ver Figura 11) apoya el tratamiento de pacientes con TEA con ayuda de un terapeuta. También es una herramienta de grabación en el consultorio, laboratorio o sala de juegos.

En otras palabras, el robot busca tener una participación positiva con los pacientes que tienen una conducta social abrupta (Rubio Benavides, 2016).



Figura 11. Robot Keepon
Fuente: (Rubio Benavides, 2016)

2.3 Interacción humano robot

La RAE define el diálogo como “La plática entre dos o más personas que alternativamente muestran sus ideas o afectos”. La acción de conversar es el modo más natural para resolver un gran número de acciones cotidianas entre los humanos, en adelante se la denomina “interacción natural” (NI). Los estudios en NI se centran en el análisis de las características esenciales y descriptivas de la interacción entre humanos (Alonso, 2014).

Un sistema con NI imita a los seres humanos en su manera de actuar de tal manera que actúe como un intermediario entre el humano y la máquina (ver Figura 12).

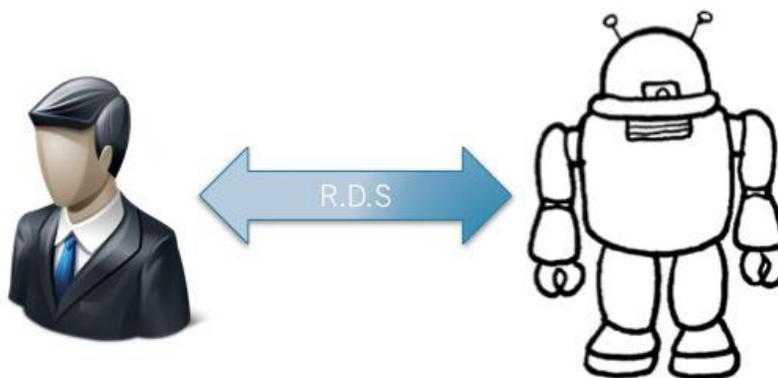


Figura 12. El sistema de interacción entre humano y robot
Fuente: (Alonso, 2014)

Un sistema de diálogo multisonido usa el canal de audio de entrada y salida para tareas como procesar o generar voz. Entre estas tareas adicionales, destacan mecanismos para captar emociones, detectar la excitación del entorno, localización de la fuente sonora, detectar la actividad de voz, identificar y verificar el interlocutor, expresión de sonidos no verbales, etc. Un esquema que ejemplifica un sistema de interacción multimodo se puede ver en la Figura 13.

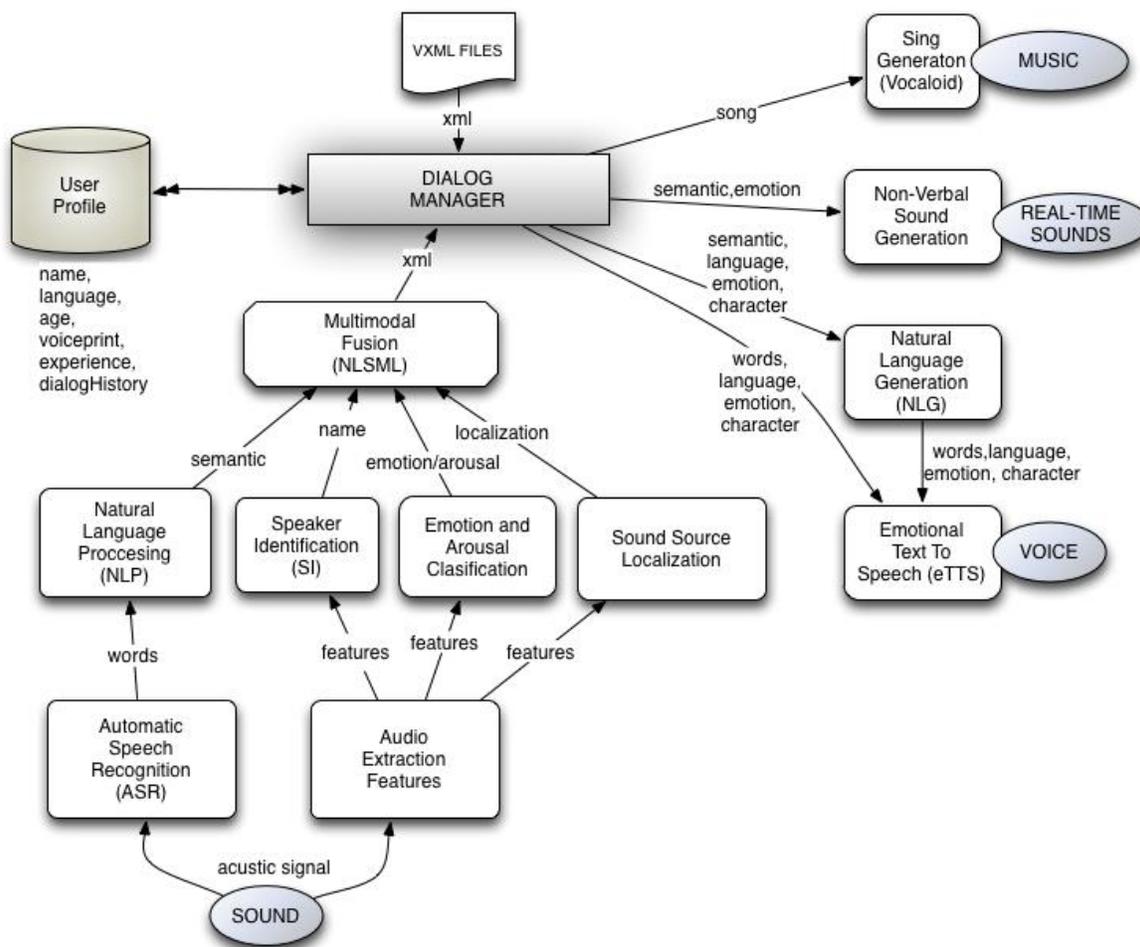


Figura 13. Sistema de diálogo multimodo
Fuente: (Alonso, 2014)

Recientes trabajos han supuesto avances en el estado del arte incorporando nuevos componentes, con el objetivo de conseguir interacciones más naturales. Además del multimodo, se han incorporado mejoras en la interacción relativas a: la proactividad, la adaptabilidad, la gestión de emociones, y la portabilidad (Alonso, 2014).

2.3.1 Modos de entrada de información

El robot Maggie (ver Figura 14), ha servido como soporte para identificar los modos de entrada y salida de información en la interacción entre humano y robot.



Figura 14. Robot Maggie

Fuente: (Alonso, 2014)

- **Audio.** El audio captado por el robot se usa fundamentalmente para las siguientes tareas: reconocimiento de voz basado en gramáticas, reconocimiento de voz de texto libre, detección de emociones en la voz, localización espacial de usuarios, generación de sonidos y acompañamiento musical que calcen perfectamente con la voz recibida.
- **Visión.** El robot posee tres mecanismos para percibir el entorno físico mediante visión artificial: cámara web, cámara de profundidad y telémetros laser. Estos sensores están dedicados a navegación por el entorno, detección e identificación de usuarios, detección de gestos y poses, detección de objetos y lectura de texto escrito (OCR).
- **RFID.** La interacción por etiquetas está destinada fundamentalmente a tareas de identificación de objetos.

- **Tacto.** Se usa como posible entrada de información para el sistema de diálogo, así como para simular cosquillas en el robot
- **Smartphones y tablets.** Es posible también la entrada de información mediante la tablet incorporada o mediante teléfonos inteligentes. En ambos se presentan un conjunto de opciones (dependiendo del diálogo y la finalidad concreta de la interacción), que el usuario puede ir activando/ desactivando mediante sus dedos (Alonso, 2014).

2.3.2 Modos de salida de información

Como sistema de diálogo multimodal simétrico, la multimodalidad se presenta tanto a la entrada del sistema como a la salida del mismo, por lo que son necesarios diversos canales de salida o expresión de información.

- **Gestos expresivos del diálogo.** Mediante brazos, cabeza, párpados y base móvil el robot es capaz de realizar gestos que complementan el diálogo. Dentro de este repertorio de gestos se encuentran algunos como: negaciones, afirmaciones, seguir con la mirada al usuario, baile, navegación por el entorno. Estos gestos se realizan de manera sincronizada con la voz y los sonidos mediante el propio gestor de diálogo.
- **Infrarrojo.** El robot puede incorporar un mando de infrarrojos programable que permite emitir la señal adecuada para encender/apagar televisores, aires acondicionados, cadenas musicales, etc. (Alonso, 2014)



Figura 15. Interacciones del robot Maggie mediante salidas de voz y tacto
Fuente: (Alonso, 2014)

2.3.3 Antropomorfismo de un robot

Se define al antropomorfismo como “la tendencia a atribuir características humanas a objetos inanimados, animales y otros con el fin de ayudarnos a racionalizar la situación”.

Por el año 2000, Brian R. Duffy analizó el grado necesario de antropomorfismo en los robots. Se tenía una visión negativa al ver a los robots como una máquina utilizando cualidades humanas como personalidad, gestos e incluso expresiones faciales. Posteriormente algunos estudios indican que los agentes con un mayor grado de antropomorfismo en su apariencia resultan más creíbles y son preferidos por los usuarios.

Estudios recientes realizados por la Universidad de Cambridge se enfocan en el grado de antropomorfismo que posee un robot para aumentar la empatía con el usuario (Loza Matovelle, 2013). Además realiza el análisis de saber si es necesario un alto grado de antropomorfismo en un robot dependiendo su objetivo. Por ejemplo, se analiza si un paciente se siente incómodo ante la presencia de un robot.

El valle inexplicable

Masahiro Mori (1972) postuló el “valle inexplicable”. En él se analiza el nivel de aprobación que tienen las personas a los robots, Mori explica que mientras más se acerque a la apariencia humana incrementará su aceptación hasta un punto en donde el nivel de aceptación baje drásticamente debido a una apariencia bastante similar al ser humano, pasado este punto vuelve a subir la aceptación (Loza Matovelle, 2013). El concepto se representa en la Figura 16.

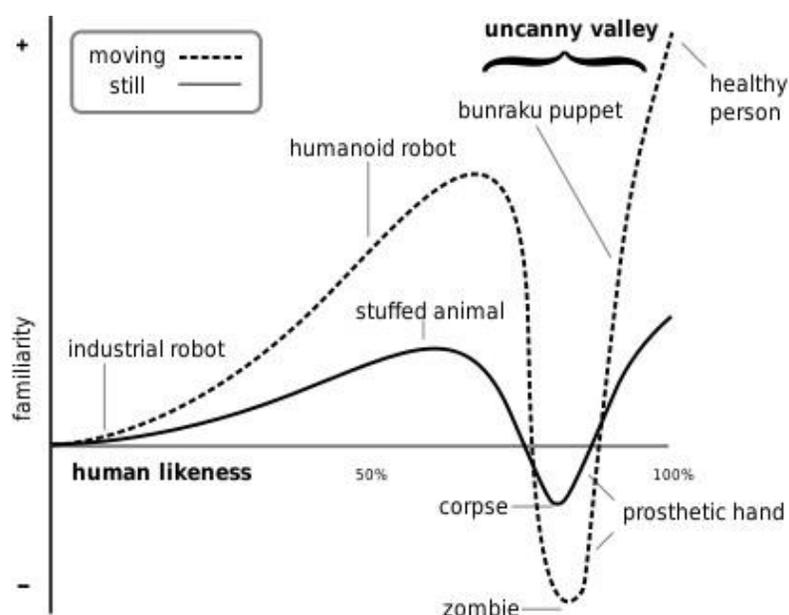


Figura 16. Valle inexplicable propuesto por Mori
Fuente: (Loza Matovelle, 2013)

2.4 Tecnología como puente de educación en el TEA

Actualmente, las terapias que cuentan con mayor validez debido a su eficacia clínica en el espectro autista son la terapia ABA (Applied Behavioral Analysis, 2007) y la terapia TEACCH (Treatment and Education of Autistic related Communication Handicapped Children, 2003).

La terapia ABA tiene como método principal de enseñanza de habilidades (cognitivas, lingüísticas, académicas, motrices, de conducta, sociales, de juego), el aprendizaje estructurado según tareas discriminadas. Mientras la terapia TEACCH está más orientada al ambiente educacional, grupal, y prestando mayor importancia a los estímulos/antecedentes de la habilidad a desarrollar más que a los refuerzos/motivaciones de la misma (Guzmán & Putrino, 2017).

2.4.1 Objetivos de comunicación en terapias de TEA y dispositivos de apoyo tecnológico

Si bien no de manera tan técnica y explícita (Michael, 1984), los objetivos comunicativos, entre muchos otros, pueden ser los siguientes:

- Aumentar, en cuanto a cantidad y/o calidad, el tipo de unidad verbal “mando”, por ejemplo, decir “puerta” cuando quiere salir de la habitación.
- Aumentar la operante verbal “ecoico” (o imitación), controlada por el estímulo representado por la misma palabra o frase que se pide repetir.
- Aumentar la operante verbal “intraverbal”. A diferencia de “ecoico”, el estímulo que la antecede no es igual a la respuesta que se espera.

2.4.2 Tecnología y TEA

Desde hace décadas, se ha indagado sobre la relevancia de la tecnología aplicada en la terapia y en la clínica en TEA. Particularmente, las acepciones de la tecnología implican una aplicación práctica del conocimiento sobre un determinado campo, comprendiendo cada elemento u objeto

utilizado en un campo de estudio, dependiendo del contexto sociohistórico en el cual está enmarcado.

La aplicación de tecnologías industriales y de multimedia como la robótica y los entornos virtuales, al TEA, es un recurso explotado actualmente. Es una posibilidad real que den frutos si se aplican en contextos para el manejo de situaciones ansiogénicas o de sobrecarga emocional, considerando también las cuestiones éticas basadas no solo en la terapia acordada con los profesionales de la salud sino también en las necesidades de la persona.

Hablando de acortar la distancia en la brecha digital/real, la simplificación de elementos de la realidad ofrece una paradoja. El desarrollo del aprendizaje y la comprensión de elementos complejos en la realidad es una dificultad que con la reducción digital, tardaría más en desarrollarse. Sin embargo, este ambiente reducido evita la sobrecarga sensorial logrando que sea un entorno atractivo y de confort para personas con TEA.

Los programas específicos en entornos educativos o de aprendizaje terapéutico, son consistentes en la definición de tareas definidas, lo cual reduce las distracciones por estímulos sensoriales innecesarios y focaliza la atención en el desarrollo de las actividades, generando también un entorno con ayudas visuales y atractivas tanto para el niño como para los terapeutas.

La primera etapa de una investigación aplicada en ciencias cognitivas, en general, y en TEA en particular, consiste en armar una herramienta o dispositivo acorde. Este debe ser intuitivo, cumplir con las principales características y necesidades que busquen tanto los padres como terapeutas de personas con TEA. Además, debe ser personalizable, focalizado en la persona, y ofrecer capacidad de generar estímulos visuales y auditivos. Luego, el niño con TEA es

entrenado por el terapeuta con el fin de comenzar a comunicarse con el mundo exterior y a tomar decisiones con opciones planteadas utilizando la herramienta, motivando una característica comunicacional (Guzmán & Putrino, 2017).

2.5 Visión Artificial

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados.

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria actual son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots)
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.

En la Figura 17 se puede ver el diagrama de bloques de la visión artificial y los componentes que implica.

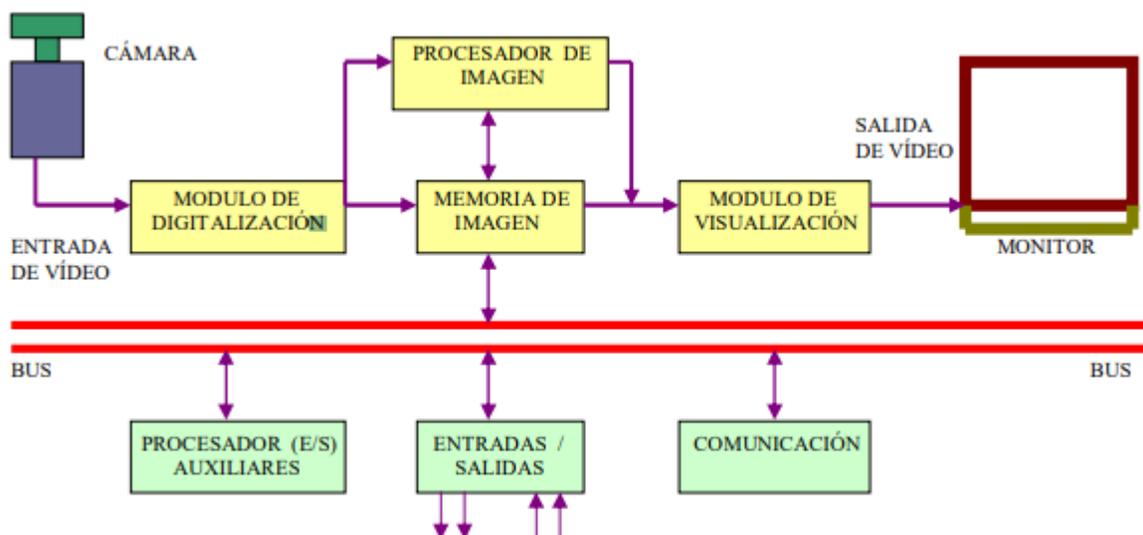


Figura 17. Diagrama de bloques de la visión artificial
Fuente: (Domínguez, 2017)

2.5.1 Fases de un sistema de visión artificial

Se tiene conocimiento de que el ser humano y seres vivos en general poseen la capacidad de capturar la luz a través de los ojos, y esta información es transferida a través del nervio óptico al cerebro donde es procesada. Por lo tanto, la visión artificial, en una imitación del funcionamiento de este comportamiento trata de definir fases para el análisis de imágenes (ver Figura 18), que tradicionalmente se divide en cuatro fases principales:

1. Etapa sensorial, que consiste en la captura o adquisición de la imagen del mundo real en imágenes digitales.
2. Tratamiento digital de las imágenes obtenidas, es donde, mediante filtros y transformaciones geométricas, entre otros, se eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma.

3. Segmentación, consiste en aislar una zona o elementos que son relevantes en una escena para poder ser comprendida.
4. Reconocimiento o clasificación, en ella se obtiene la distinción de los objetos segmentados de la escena, gracias a los análisis de ciertas características que fueron establecidas previamente para diferenciarlos.

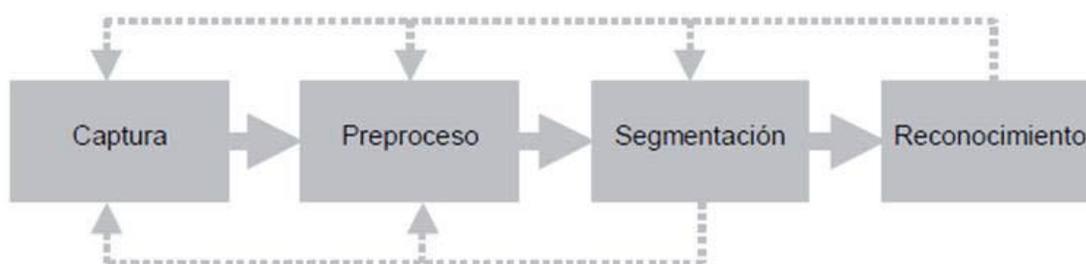


Figura 18. Representación gráfica del desarrollo basado en prototipos
Fuente: (Bustamante, 2014)

2.5.2 Aumento y reducción de contraste

Las modificaciones del histograma se pueden visualizar eficazmente mediante las funciones de transferencia del histograma (ver Figura 19). Estas funciones corresponden a aplicaciones, pues para cada punto del dominio solo tiene un valor de imagen.

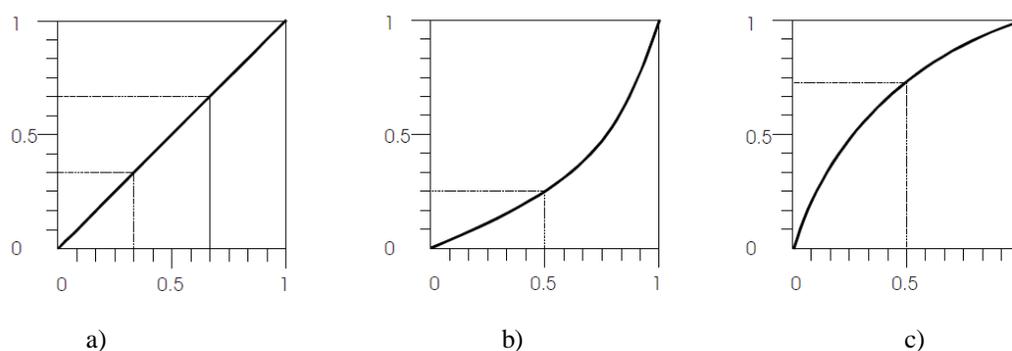


Figura 19. Funciones a) lineal b) cuadrada y c) raíz cuadrada
Fuente: (Bustamante, 2014)

Se define contraste como la diferencia de intensidad pronunciada. Un buen indicador del contraste de una imagen podría consistir en el cálculo de la desviación de su histograma. Una función de transferencia que aclare los niveles claros y oscurezca los niveles oscuros, conseguirá sobre el conjunto de la imagen un efecto visual de aumento de contraste y viceversa (Bustamante, 2014).

2.5.3 Filtros espaciales

El filtrado espacial se utiliza para transformar una imagen a una representación alternativa, que puede ser desde generar una imagen borrosa o incluso para la detección de contorno.

Filtros de suavidad

El filtro de suavizado espacial se basa en el promediado de los píxeles adyacentes al píxel que se evalúa. Quizás el filtro de suavizado más simple que se puede diseñar, se corresponde con una matriz de 3x3 con todos los elementos a 1. Un ejemplo de filtrado de suavidad se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Aplicación de un filtrado espacial a) Original b) Suavizado
Fuente: (Bustamante, 2014)

Filtros de obtención de contornos

El cálculo de la derivada direccional de una función permite conocer cómo se producen los cambios en una dirección determinada, es decir, los cambios de claro a oscuro y viceversa determinan el contorno de una imagen. A esta función se las llama ventanas de Sobel y están representadas en la Figura 21.



a)

b)

Figura 21. Filtrado de contornos a) Original b) Sobel

Fuente: (Bustamante, 2014)

2.5.4 Espacio de color

El propósito de un modelo de color (también denominado espacio de color) es para facilitar la especificación de los colores en algún estándar, de alguna forma aceptada generalmente. En términos de procesamiento digital de imagen, los modelos orientados al hardware más utilizados en la práctica son el modelo RGB (rojo, azul, verde) para monitores de colores y cámaras de video a color de amplia clase; el modelo CMY (cian, magenta, amarillo) y el CMYK (cian, magenta, amarillo, negro) para impresiones a color; y el modelo HSV (tono, saturación y valor), el cual corresponde muy de cerca con la forma que los humanos describen e interpretan el color (Bustamante, 2014).

2.5.5 Segmentación

La segmentación es un proceso que consiste en dividir una imagen digital en regiones homogéneas con respecto a una o más características (como por ejemplo el brillo o el color) con el fin de facilitar un posterior análisis o reconocimiento automático.

El proceso de segmentación de una imagen depende del problema que se desee resolver, por lo tanto, dentro de una misma imagen pueden realizarse diferentes segmentaciones. Las más comunes son:

Contorno

El contorno de un objeto en una imagen digital corresponde al mínimo conjunto de píxeles que separa ese objeto del fondo o background de la imagen.

Normalmente para detectar contornos se utiliza una imagen binaria, los ceros como cero y cualquier valor distinto de cero como unos. El algoritmo para detectar contornos consiste en un barrido de la imagen hasta encontrar un punto en el objeto, una vez encontrado comienza a recorrer el borde del objeto guardando los puntos que se encuentren, ya sea en un array o en una lista de secuencias. Una vez terminado con el objeto, este y su interior se borra de la imagen para seguir buscando contornos de otros objetos.

Segmentación basada en el color

Una técnica común de segmentación en color consiste en separar el proceso en dos fases. En la primera se aplican las técnicas que se ha estudiado para niveles de gris a cada uno de los tres

planos RGB (ver Figura 22). En la segunda se integran los resultados de la primera para producir como resultado la segmentación de la imagen en color.

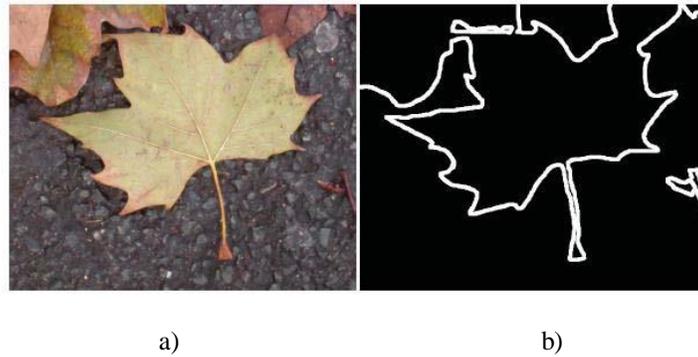


Figura 22. Ejemplo de segmentación de una imagen en color a) Original b) Segmentación
Fuente: (Bustamante, 2014)

2.5.6 Open CV

OpenCV es una librería de código abierto. Esta librería está escrita en C y C++ y corre bajo Linux, Windows y Mac OS X. OpenCV posee un diseño computacionalmente eficiente y está enfocado en las aplicaciones de tiempo real. Si es que la configuración del Hardware así lo permite aprovecha el uso de más de un procesador.

Su objetivo es proveer de una infraestructura de simple uso para desarrollar aplicaciones de visión relativamente sofisticada en una cantidad de tiempo limitada. La librería posee alrededor de 500 funciones que abarcan muchas áreas de la visión como imágenes médicas, seguridad, interfaz de usuario, calibración de la cámara, visión estéreo y robótica. Incluye una librería de propósito general Machine Learning (MLL) para clustering y reconocimiento de patrones (Bustamante, 2014).

Los componentes principales de Open CV se observan en la Figura 23.

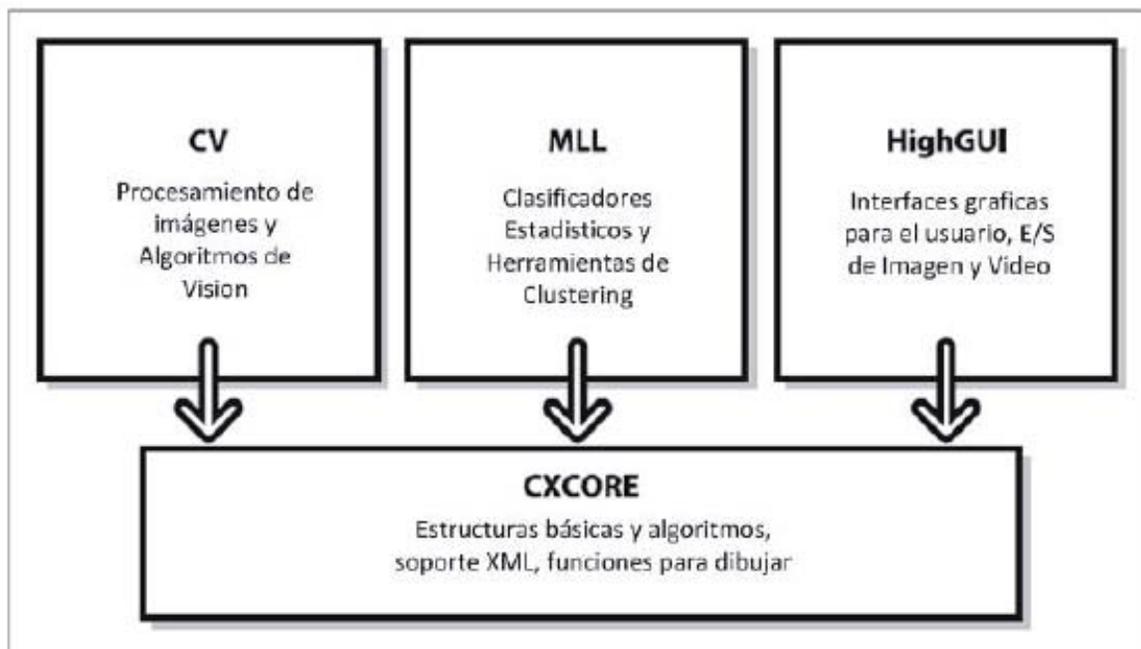


Figura 23. Estructura de OpenCV
Fuente: (Bustamante, 2014)

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO

Este capítulo contiene los campos necesarios para el desarrollo del robot “FRANKIE”, empezando con la identificación de las necesidades del usuario para traducirlas en un conjunto de especificaciones con el uso del método Quality Function Deployment, QFD, (Hauser, 1988). Después se procederá en la especificación de la arquitectura en módulos y submódulos del sistema para obtener la selección de conceptos.

Se desarrollará un segmento de análisis de los subsistemas como también del cálculo respectivo y mediante un estudio de resultados se obtendrá una realimentación para el mejoramiento de todo el sistema. Este tipo de metodología será basada en el diseño de sistemas mecatrónicos VDI 2206 (VDI-RICHTLINIEN, 2004).

3.1 Requerimientos del sistema

Para determinar las especificaciones se deberá tomar en cuenta como punto de partida las necesidades del usuario, elaborar una lista de métricas y realizar una matriz que relacione estos aspectos. Para lo cual se contactó con la “Fundación Hellen Keller” supervisada por la Mgs. Verónica García, neuropsicóloga clínica. El centro está registrado por la Federación Ecuatoriana Pro-Atención a la Persona con Discapacidad Intelectual, Parálisis Cerebral, Autismo y Síndrome de Down, FEPAPDEM.

3.1.1 Identificación de las necesidades

Se ha determinado las necesidades del usuario que se muestran en la Tabla 2 además de su importancia relativa de forma ascendente del 1 al 5, mediante una entrevista a la Mgs. Verónica García.

Tabla 2

Necesidades del usuario para el robot y su importancia relativa

Núm.	Necesidad		Importancia
1	El robot	Debe llamar la atención visualmente	5
2	El robot	Debe expresar emociones	4
3	El robot	Debe ser educativo y didáctico	5
4	El robot	Debe decir frases que ayuden en el proceso	4
5	El robot	No debe cometer errores de clasificación	5
6	El robot	Debe guiar a los niños de forma clara	5
7	El robot	Debe trabajar con pictogramas de rutinas cotidianas	4
8	El robot	Debe realizar movimientos que ayuden a la interacción con el niño	3
9	El robot	Debe ser de fácil transporte	3
10	El robot	Debe realizar un seguimiento visual	4
11	El robot	Debe realizar un proceso secuencial y repetitivo	4
12	El robot	Debe ser compacto	3

3.1.2 Elaboración de la lista de métricas

Se ha dispuesto las métricas óptimas que reflejen que el sistema cumpla con las necesidades del usuario de forma directa, se muestran en la Tabla 3 con su respectiva importancia relativa.

Tabla 3*Lista de métricas del sistema*

Métrica núm.	Núm. De necesidad	Métrica	Imp.	Unidad
1	1, 2, 6, 8	Movimiento del robot	5	Grados.
2	4, 6, 7	Reproducir frases e imágenes	4	Subj.
3	2, 4, 6	Producir gestos en el rostro	4	Subj.
4	7, 10	Visión artificial	4	Subj.
5	5, 6, 11	Software de control	5	Subj.
6	2, 3, 4	Aplicación Informática	5	Subj.
7	5, 9	Diseño robusto	5	Subj.
8	1	Diseño estético del sistema	5	Subj.
9	9	Peso	3	Kg
10	12	Dimensiones	3	mm
11	5, 11	Máquina de estados	5	Subj.

3.1.3 Matriz de necesidades-métricas

La Tabla 4 muestra la relación de las necesidades frente a las métricas mediante una marca en la casilla respectiva, esta es una técnica gráfica fundamental del QFD (Hauser, 1988).

3.2 Planteamiento de especificaciones

Tomando en cuenta las necesidades del usuario y de la relación con las métricas propuestas, y debido que el financiamiento es propio de los autores se puede determinar las especificaciones del sistema, las cuales se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5
Especificaciones del proyecto

Parámetro	Especificación
Desarrollo de software	- Implementado en ROS - Lenguaje de programación: Python y Arduino
Arquitectura	- Tipo modular
Grados de libertad	- Mínimo 3 grados
Emociones	- Mínimo 2
Idioma	- Español
Dimensiones del sistema	- Máximo 70 cm de alto y 70 cm de ancho
Peso	- Máximo 6 Kg
Consumo Energético	- 110VAC, 5 y 12 VDC
Costo de Fabricación	- Máximo \$300

3.3 Arquitectura del sistema

La modularidad trata los cambios en el diseño del sistema sin intervenir en los otros componentes del mismo. El uso de este tipo de arquitectura ayudará al desarrollo de este proyecto de investigación a tener cambios en partes específicas sin la necesidad de afectar a otras. Por lo que a continuación se mostrará los módulos para el funcionamiento del robot, en los cuales se incluirán métodos de diseño y criterios de evaluación convenientes para la problemática que se está tratando. La Tabla 6 muestra módulos y submódulos con sus respectivas funciones.

Tabla 6*Arquitectura modular del sistema*

Módulo	Submódulos	Funciones
Estructura del robot	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada para la interacción entre el robot y niños con (TEA)
Estructura del área de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Material 	<ul style="list-style-type: none"> • Segura y estable para utilización de niños con autismo leve.
Movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismo del cuello • Mecanismo del dispensador 	<ul style="list-style-type: none"> • Grados de libertad del robot • Distribución ordenada de tarjetas en el proceso.
Control	<ul style="list-style-type: none"> • Software de control 	<ul style="list-style-type: none"> • Encargado de relacionar todos los módulos para el funcionamiento correcto del robot.
Eléctrico y Electrónico	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de desarrollo • Actuadores • Sensores 	<ul style="list-style-type: none"> • Control y monitoreo de sensores y actuadores
Visión Artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Detección y seguimiento de colores 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de tarjeta. • Transmitir coordenadas en el área de trabajo
Tratamiento - Interacción	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño estético • App • Rutinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Interacción dinámica con el usuario.
Identificación de la Rutina	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de identificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el proceso por el usuario.

3.4 Selección de conceptos

En esta sección se procede a establecer alternativas para los módulos determinados, la selección de conceptos será basada en tablas ponderadas, en las cuales se compara los criterios que serán calificadas con valores de entre 0 y 1, donde 1 significa que tiene más importancia que otro y 0 que es irrelevante en relación con los demás criterios.

3.4.1 Módulo Estructura del robot

Submódulo Fabricación

Este submódulo se enfoca en el tipo de fabricación de la estructura externa del robot, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Moldeo por inyección de plástico

Es un proceso en el cual se inyecta material de polímero en estado fundido en un molde específico mediante presión y frío, el plástico se solidifica después de cristalizarse y posteriormente se retira la pieza al abrir el molde.

Como ventajas se puede resaltar que se puede realizar cualquier diseño y dimensión requeridos y dependiendo del polímero si aportan propiedades mecánicas como resistencia a impactos y durabilidad. En desventajas del material se tiene que el costo de los moldes específicos es elevado y puede presentar defectos como desviaciones, líneas de flujo, puntos negros, entre otros.

b) Impresión 3D

Es un proceso donde el material se aporta mediante capas sucesivas de plástico fundido, se utiliza impresoras 3D que transmiten planos virtuales de los diseños CAD desarrollados en softwares de moldeado que guían el movimiento cartesiano de la impresión.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas del proceso de fabricación:

- Costo
- Disponibilidad
- Tiempo de fabricación

En la Tabla 7 se muestra la ponderación de cada criterio para el tipo de fabricación de la estructura del robot.

Tabla 7

Ponderación de criterios para la fabricación de la estructura del robot

	Costo	Disponibilidad	Tiempo de fabricación	$\sum + 1$	Ponderación
Costo	-	0	1	2	0.33
Disponibilidad	1	-	1	3	0.5
Tiempo de fabricación	0	0	-	1	0.17
	TOTAL			6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Moldeo por inyección de plástico
- Concepto 2: Impresión 3D

En la Tabla 8 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 8
Ponderación de conceptos de la fabricación de la estructura

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Disponibilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0.5	1.5	0.5
Concepto 2	0.5	-	1.5	0.5
TOTAL			3	1
Tiempo de fabricación	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio (ver Tabla 7) por la obtenida en la ponderación del concepto (ver Tabla 8). Se muestra el resultado en la Tabla 9.

Tabla 9*Selección de concepto para el tipo de fabricación de la estructura del robot*

	Costo	Disponibilidad	Tiempo de fabricación	TOTAL
Concepto 1	0.11	0.25	0.06	0.42
Concepto 2	0.22	0.25	0.11	0.58
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que la Impresión 3D es la mejor alternativa como proceso de fabricación de la estructura del robot.

3.4.2 Módulo Estructura del área de trabajo

Submódulo Material

Este submódulo se enfoca en cuál material es adecuado para el trabajo con niños que padecen de autismo leve, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Madera MDF

Es un tipo de tablero formado con aproximadamente el 85% de fibras de madera y un 15% de resinas sintéticas de forma comprimida. Entre sus ventajas se encuentra que debido a su contextura es muy fácil de fresar o tallar, tiene un costo muy bajo y es muy buena para la utilización de pinturas y barnices. Como desventajas se tiene que resaltar que este material es muy sensible a la humedad y que a pesar de soportar impactos y tener buena resistencia a la torsión en las caras, los golpes en las esquinas pueden dañar el material.

b) Madera triplex

Consiste en una lámina formada por capas de maderas superpuestas que tienen las fibras en dirección adyacente para formar un ángulo recto, esto le da estabilidad dimensional para evitar torceduras. Se utiliza con frecuencia en muebles, closets, puertas e instalaciones interiores.

c) Metal

Es un material muy conocido por sus propiedades físicas, como su alta resistencia, su alta conductividad térmica y eléctrica, tiene un costo alto de material como de consumo energético. Otra ventaja que resaltar es que es un material bastante reutilizable, lo que es bueno en la rentabilidad si el fin es reciclar.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas del material con el que se va a fabricar la estructura del área de trabajo:

- Costo
- Riesgo
- Versatilidad de diseño

En la Tabla 10 se muestra la ponderación de cada criterio para el material de fabricación.

Tabla 10*Ponderación de criterios para material de la estructura del área de trabajo*

	Costo	Riesgo	Versatilidad	$\sum + 1$	Ponderación
Costo	-	0	0	1	0.17
Riesgo	1	-	1	3	0.5
Versatilidad	1	0	-	2	0.33
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Madera MDF
- Concepto 2: Madera triplex
- Concepto 3: Metal

En la Tabla 11 se realiza la calificación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 11*Ponderación de conceptos frente a cada criterio del material del área del trabajo*

Costo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	1	3	0.5
Concepto 2	0	-	1	2	0.33
Concepto 3	0	0	-	1	0.17
TOTAL				6	1
Concepto 1	-	0.5	1	2.5	0.416
Concepto 2	0.5	-	1	2.5	0.416
Concepto 3	0	0	-	1	0.17
TOTAL				6	1

CONTINÚA

Concepto 1	-	1	1	3	0.5
Concepto 2	0	-	1	2	0.33
Concepto 3	0	0	-	1	0.17
TOTAL				6	1

Igualmente, para la selección de concepto se realiza el mismo procedimiento del submódulo anterior, los resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Selección de concepto para el material del área de trabajo

	Costo	Riesgo	Versatilidad	TOTAL
Concepto 1	0.085	0.208	0.165	0.458
Concepto 2	0.0561	0.208	0.1089	0.373
Concepto 3	0.0289	0.085	0.0561	0.17
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que madera MDF es la mejor alternativa como material para la fabricación del área de trabajo.

3.4.3 Módulo Movimiento

Submódulo Mecanismo del cuello

En este submódulo se busca el tipo de mecanismo para el cuello que sea efectivo para este proyecto, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Mecanismo de cuello Pitch & Yaw

Es un tipo de cuello altamente utilizado en robots comerciales, que trata los movimientos en el cuello de dos grados de libertad, de dirección (Yaw) y elevación (Pitch). En la Figura 24 se puede observar esta implementación sobre un robot que es bastante conocido llamado NAO desarrollado por Aldebaran Robotics en Francia.

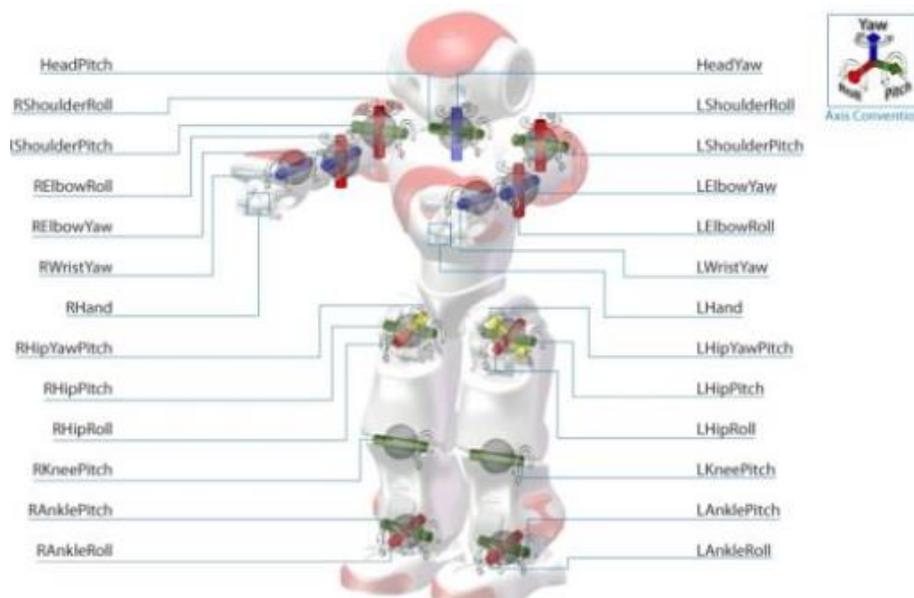


Figura 24. Articulaciones del robot NAO
Fuente: (Bolaños, 2015)

b) Mecanismo de 3-DOF

Un mecanismo de 3 grados de libertad se caracteriza por poder realizar movimientos en un espacio tridimensional. En la Figura 25 se observa una implementación de este mecanismo para un cuello de un robot esférico de 3 dof implementado en México con el objetivo realizar movimientos humanoides.

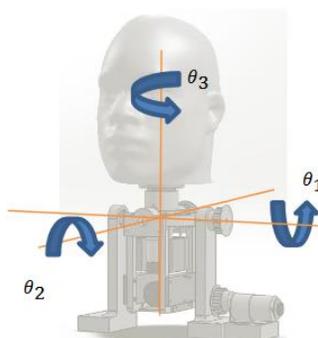


Figura 25. Mecanismo esférico 3 grados de libertad

Fuente: (F.J. López, 2017)

A continuación, se enlistan los criterios en los que se evaluarán las alternativas del mecanismo del cuello para el movimiento del robot

- Volumen de trabajo
- Controlabilidad
- Movimiento humanoide

En la Tabla 13 se muestra la ponderación de cada criterio para el tipo de mecanismo conveniente para el movimiento del cuello.

Tabla 13

Ponderación de criterios para el tipo de mecanismo del cuello

	Volumen de trabajo	Controlabilidad	Movimiento humanoide	$\sum +1$	Ponderación
Volumen de trabajo	-	0	0	1	0.17
Controlabilidad	1	-	0	2	0.33
Movimiento humanoide	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Mecanismo de cuello Pitch & Yaw
- Concepto 2: Mecanismo de 3-DOF

En la Tabla 14 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 14

Ponderación de conceptos frente a cada criterio del tipo de mecanismo del cuello

Volumen de trabajo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Controlabilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Movimiento humanoide	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

Igualmente, para la selección de concepto se realiza el mismo procedimiento del submódulo anterior. Se muestra el resultado en la Tabla 15.

Tabla 15*Selección de concepto para el tipo de mecanismo del cuello*

	Volumen de trabajo	Controlabilidad	Movimiento humanoide	TOTAL
Concepto 1	0.056	0.221	0.165	0.442
Concepto 2	0.114	0.109	0.335	0.558
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que el mecanismo de 3-DOF es la mejor alternativa para el diseño del cuello del robot.

Submódulo Mecanismo del dispensador

Este submódulo busca encontrar la mejor alternativa para el diseño del mecanismo del dispensador, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Mecanismo Biela-Manivela

En este tipo de mecanismo convierte movimiento giratorio en un movimiento lineal, o viceversa. Este mecanismo tiene un amplio uso en la industria, por ejemplo, en verificación de amortiguadores, empujador de botellas, maquinas envasadoras, entre otras.

En la Figura 26 se puede observar el sistema de biela manivela.

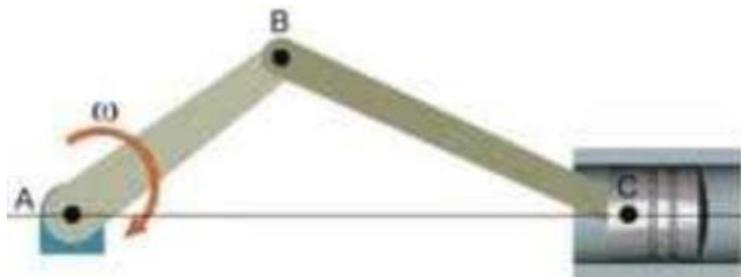


Figura 26. Sistema Biela-Manivela

Fuente: (Puebla, 2012)

b) Mecanismo de Tornillo sin fin y rueda dentada

Este mecanismo está compuesto por un elemento de entrada (tornillo sin fin), y un elemento de salida (rueda dentada). Los dientes de la rueda engranan con la rosca del tornillo para que sus ejes de transmisión formen un ángulo recto, lo que transforma el movimiento circular del tornillo en un movimiento lineal del eje de la rueda que se traslada por el tornillo. Se observa este sistema en la Figura 27.



Figura 27. Mecanismo de tornillo sin fin

Fuente: (Monge, 2019)

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas del mecanismo del dispensador que distribuya las tarjetas al usuario:

- Ensamblaje
- Costo
- Potencia

En la Tabla 16 se muestra la ponderación de cada criterio para el tipo de mecanismo del dispensador.

Tabla 16

Ponderación de criterios para el tipo de mecanismo del dispensador

	Ensamblaje	Costo	Potencia	$\sum + 1$	Ponderación
Ensamblaje	-	1	0	2	0.33
Costo	0	-	0	1	0.17
Potencia	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Mecanismo Biela-Manivela
- Concepto 2: Mecanismo de Tornillo sin fin y rueda dentada

En la Tabla 17 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 17

Ponderación de conceptos frente a cada criterio del mecanismo dispensador

Ensamblaje	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67

CONTINÚA

Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Potencia	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 18.

Tabla 18

Selección de concepto para el tipo de mecanismo del dispensador

	Ensamblaje	Costo	Complejidad de diseño	TOTAL
Concepto 1	0.221	0.114	0.335	0.67
Concepto 2	0.109	0.056	0.165	0.33
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que el mecanismo de biela-manivela es la mejor alternativa para la distribución de las tarjetas del dispensador.

3.4.4 Módulo Control

Submódulo Software de control

Este submódulo se enfoca en el lenguaje de programación para el software de control, para lo que se tiene las siguientes alternativas:

a) Lenguaje C++

Es un lenguaje de programación común, potente en lo que trata de la creación de sistemas complejos y orientado a objetos, como desventaja se puede resaltar que puede llegar a ser complejo en comparación con otros lenguajes.

b) Python

Es un lenguaje de programación orientada a objetos, bastante intuitiva y flexible, y de multiplataforma. Otra característica favorable es la de una gran cantidad de repositorios GitHub, y un defecto que resalta es que no dispone de una buena documentación.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas del software de control:

- Costo computacional
- Complejidad
- Flexibilidad

Igualmente, para la selección de concepto se realiza el mismo procedimiento del submódulo anterior, los resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19
Ponderación de criterios para el software de control

	Costo computacional	Complejidad	Flexibilidad	$\sum +1$	Ponderación
Costo	-	1	0	2	0.33
Complejidad	0	-	0	1	0.17
Flexibilidad	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Lenguaje C++
- Concepto 2: Python

En la Tabla 20 se realiza la ponderación para cada concepto.

Tabla 20
Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el software de control

Costo computacional	Concepto 1	Concepto 2	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Complejidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

CONTINÚA

Flexibilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 21.

Tabla 21
Selección de concepto para el software de control

	Compatibilidad	Costo	Flexibilidad	TOTAL
	computacional			
Concepto 1	0.22	0.056	0.165	0.44
Concepto 2	0.109	0.114	0.335	0.56
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que la Python es la mejor alternativa para software de control.

3.4.5 Módulo Eléctrico y Electrónico

Submódulo Placa de desarrollo

Este submódulo consiste en la selección de la placa en al que se desarrollará el sistema de control del sistema, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Raspberry Pi

Es un ordenador en forma de placa con potencia para tareas básicas que permite componer programas que se ejecuten en él. Está diseñado para fines didácticos por Raspberry Pi Foundation.

b) Arduino

Es una plataforma de código abierto basado en software y hardware libres para fines electrónicos de control. Desarrollado con fines educacionales por estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo en Italia.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para la placa de desarrollo:

- Modularidad
- Costo
- Velocidad

En la Tabla 22 se muestra la ponderación de cada criterio para la placa de desarrollo del sistema.

Tabla 22

Ponderación de criterios para la placa de desarrollo.

	Modularidad	Costo	Velocidad	$\sum + 1$	Ponderación
Modularidad	-	1	1	3	0.5
Costo	0	-	0	1	0.17
Velocidad	0	1	-	2	0.33
	TOTAL			6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Raspberry Pi
- Concepto 2: Arduino

En la Tabla 23 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 23

Ponderación de conceptos frente a cada criterio de la placa de desarrollo.

Modularidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Velocidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 24.

Tabla 24
Selección de concepto para la placa de desarrollo.

	Modularidad	Costo	Velocidad	TOTAL
Concepto 1	0.165	0.056	0.22	0.441
Concepto 2	0.335	0.114	0.11	0.559
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que Arduino es la mejor alternativa como placa de desarrollo para este proyecto.

Submódulo Actuadores

Este submódulo trata cuál tipo de motor es el adecuado para el movimiento del robot, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Servomotor

Es un tipo de motor especial que permite el control de la posición del eje por grados o a una posición fija. Compuesto por elementos electromecánicos como un motor DC, engranes y el circuito de control.

b) Motor a pasos

Es un tipo de motor electromecánico que transforma pulsos eléctricos en desplazamiento angular. Su aplicación es para mecanismos bastante precisos. Para su control es necesario un driver que regule el ancho de banda.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para la placa de desarrollo:

- Consumo energético
- Exactitud
- Costo

En la Tabla 25 se muestra la ponderación de cada criterio para el actuador encargado de los movimientos del sistema del sistema.

Tabla 25

Ponderación de criterios para la selección de motores.

	Consumo energético	Exactitud	Costo	$\sum + 1$	Ponderación
Consumo energético	-	0	0	1	0.17
Exactitud	1	-	0	2	0.33
Costo	1	1	-	3	0.5
	TOTAL			6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Servomotor
- Concepto 2: Motor a pasos

En la Tabla 26 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 26*Ponderación de conceptos frente a cada criterio del motor.*

Consumo energético	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Exactitud	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 27.

Tabla 27*Selección de concepto para el motor.*

	Consumo energético	Exactitud	Costo	TOTAL
Concepto 1	0.11	0.221	0.335	0.67
Concepto 2	0.056	0.109	0.165	0.33
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que servomotores son la mejor alternativa como actuadores para el sistema.

Submódulo Sensores

Este submódulo trata cuál sensor es el adecuado para la detección de posición de tarjetas en la matriz y en el dispensador, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Sensor infrarrojo

Es un tipo de sensor que mediante un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor detecta señales infrarrojas que se reflejan, puede ser usado para seguimiento de líneas blancas o negras o para detección de objetos cercanos.

b) Fin de carrera

Es un dispositivo electromecánico, conformado por un accionador que mecánicamente puede abrir o cerrar la conexión entre los contactos mediante su accionamiento.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para la placa de desarrollo:

- Acondicionamiento
- Sensibilidad
- Exactitud

En la Tabla 28 se muestra la ponderación de cada criterio para la selección de sensores.

Tabla 28
Ponderación de criterios para la selección de sensores

	Acondicionamiento	Sensibilidad	Exactitud	$\sum + 1$	Ponderación
Acondicionamiento	-	0	0	1	0.17
Sensibilidad	1	-	0	2	0.33
Exactitud	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Sensor infrarrojo
- Concepto 2: Fin de carrera

En la Tabla 29 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 29
Ponderación de conceptos frente a cada criterio del sensor.

Acondicionamiento	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Sensibilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Exactitud	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67

CONTINÚA

Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 30.

Tabla 30
Selección de concepto para el sensor.

	Acondicionamiento	Sensibilidad	Exactitud	TOTAL
Concepto 1	0.06	0.221	0.335	0.61
Concepto 2	0.114	0.109	0.165	0.39
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que sensores infrarrojos son la mejor alternativa para las aplicaciones de este sistema. Más específicamente el sensor QRD1114 ya que cumple con todas las características necesarias.

3.4.6 Módulo Visión Artificial

Submódulo Detección y seguimiento de colores

Este submódulo se enfoca en el filtro del algoritmo que permita la identificación de cada tarjeta por el color de la misma, con el fin de que no se confundan con los colores del entorno:

a) Filtro RGB

Este filtro se define al determinar cuánto rojo, verde y azul está contenido en un mismo valor, lo que caracteriza al sistema RGB representado en la Figura 28 es ser aditivo, es decir por cuanto más se agregue de un color, más brillante será. Uno de sus defectos es que no es bueno para describir cambios de tono, saturación o brillo.

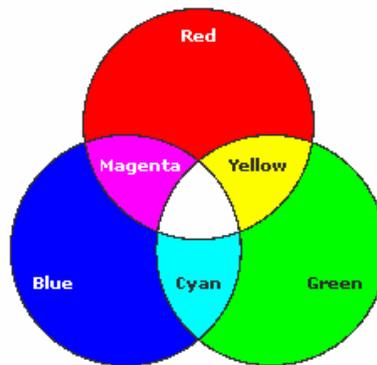


Figura 28. Sistema RGB
Fuente: (Moreno, 2004)

b) Filtro CMYK

El sistema CMYK que se observa en la Figura 29 es parecido al RGB con la diferencia que los colores primarios son el cian, magenta y amarillo. Un defecto de este sistema radica en que es imposible obtener los colores de blanco y negro, por lo que el color negro es adherido como primario. Este filtro se fundamenta en la absorción de la luz, es decir que el color que se detecta corresponde a la parte de la luz que incide en un objeto y no por la absorbida por el mismo.

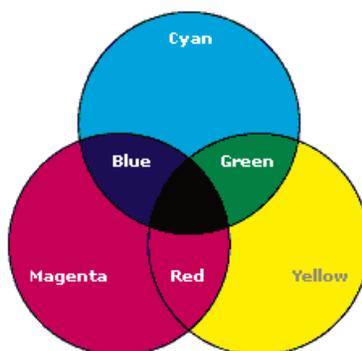


Figura 29. Sistema CMYK
Fuente: (Moreno, 2004)

c) Filtro HSV

Este filtro describe los cambios de tono, saturación y brillo, es decir que hace referencia al color como tal, la concentración de color sobre el elemento y la cantidad de claridad que tiene el color. En la Figura 30 se ilustra este sistema.

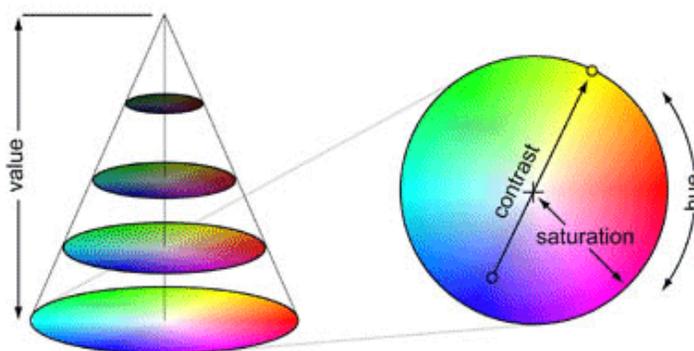


Figura 30. Sistema HSV
Fuente: (Moreno, 2004)

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas del filtro para la detección y seguimiento de colores:

- Cantidad de datos
- Sensibilidad
- Filtrado

En la Tabla 31 se muestra la ponderación de cada criterio para el filtro de la detección y seguimiento de colores.

Tabla 31

Ponderación de criterios para filtro de detección y seguimiento de colores.

	Cantidad de datos	Sensibilidad	Filtrado	$\sum + 1$	Ponderación
Cantidad de datos	-	0	0	1	0.17
Sensibilidad	1	-	1	3	0.5
Filtrado	1	0	-	2	0.33
	TOTAL			6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Filtro RGB
- Concepto 2: Filtro CMYK
- Concepto 3: Filtro HSV

En la Tabla 32 se realiza la calificación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 32

Ponderación de conceptos frente a cada criterio del filtro de detección de colores.

Cantidad de datos	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	0.5	0	1.5	0.25
Concepto 2	0.5	-	0	1.5	0.25
Concepto 3	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Sensibilidad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	0	2	0.33
Concepto 2	0	-	0	1	0.17
Concepto 3	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Filtrado	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	0.5	0	1.5	0.25
Concepto 2	0.5	-	1	1.5	0.25
Concepto 3	1	1	-	3	0.5
TOTAL				6	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. El resultado se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33

Selección de concepto para el filtro de detección y seguimiento de colores

	Cantidad de datos	Sensibilidad	Filtrado	TOTAL
Concepto 1	0.043	0.165	0.083	0.29

CONTINÚA

Concepto 2	0.043	0.085	0.083	0.21
Concepto 3	0.085	0.25	0.165	0.5
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que el filtro HSV es la mejor alternativa para la detección y seguimiento de colores.

3.4.7 Módulo Tratamiento - Interacción

Submódulo Diseño estético

Este submódulo se enfoca en el tipo de apariencia para el diseño estético del robot, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Humanoide

Es un tipo de robot cuyo diseño simula la forma y los movimientos de un ser humano, con propósitos de investigación. Tienen más aceptabilidad social mientras no entren en el valle inexplicable que se representa en la Figura 16 donde el aspecto causa una respuesta emocional negativa y se amplifica con el movimiento.

b) Apariencia animal

Son un tipo de robot que se relacionan con la biónica, es decir al diseño de sistemas mecánicos que se inspiran en seres vivos como pueden ser animales o insectos. Generalmente estos robots son producidos para dar el papel de mascota. Un ejemplo muy

famoso de este tipo de robots es AIBO diseñado y creado por Sony, se lo observa en la Figura 31.



Figura 31. AIBO

Fuente: (Laboratorio de Criaturas Digitales de SONY, 1999)

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para la apariencia estética del robot adecuada para niños con TEA.

- Ergonomía
- Afinidad
- Interactivo

En la Tabla 34 se muestra la ponderación de cada criterio para el diseño estético del robot.

Tabla 34

Ponderación de criterios para el diseño estético del robot

	Ergonomía	Afinidad	Interactivo	$\sum +1$	Ponderación
Ergonomía	-	1	1	3	0.5
Afinidad	0	-	0	1	0.17
Interactivo	0	1	-	2	0.33
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Humanoide
- Concepto 2: Apariencia animal

En la Tabla 35 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 35

Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el diseño estético del robot

Ergonomía	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Afinidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Interactivo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 36.

Tabla 36*Selección de concepto para el diseño estético del robot*

	Ergonomía	Afinidad	Interactivo	TOTAL
Concepto 1	0.335	0.114	0.221	0.67
Concepto 2	0.165	0.056	0.109	0.33
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que una apariencia humanoide es la mejor alternativa como fundamento para el diseño estético del robot.

Submódulo App

Este submódulo se enfoca en el software para la creación de la aplicación encargada de la interacción con los niños, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) MIT App Inventor

Es un entorno de desarrollo de aplicaciones del sistema Android creado por Google Education y actualmente administrado por el Centro del MIT para el aprendizaje móvil. Su utilización ha aumentado debido a factores como la simplicidad de uso, ya que se puede crear aplicaciones mediante bloques de manera intuitiva y gráfica y también se puede acceder desde cualquier lugar y momento ya que se realiza en línea.

b) Android Studio

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para la construcción de aplicaciones Android. Se basa en IntelliJ IDEA y como características se tiene que es un sistema de compilación basado en Gradle, posee un editor de código potente, permite emular varias funciones de forma rápida, integra plantillas de código y GitHub para

ayudar a compilar funciones comunes, gran variedad de herramientas y frameworks de prueba, permite simulación de aplicaciones, entre otras.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para el software de desarrollo de la aplicación para la interacción del robot con los usuarios:

- Complejidad en programación
- Versatilidad
- Acceso al código

En la Tabla 37 se muestra la ponderación de cada criterio para el software de desarrollo de la App.

Tabla 37

Ponderación de criterios para el software de desarrollo de la App

	Complejidad	Versatilidad	Acceso al código	$\sum + 1$	Ponderación
Complejidad	-	0	1	2	0.33
Versatilidad	1	-	1	3	0.5
Acceso al código	0	0	-	1	0.17
TOTAL				6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: MIT App Inventor
- Concepto 2: Android Studio

En la Tabla 38 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 38*Ponderación de conceptos frente a cada criterio para el software de la App*

Complejidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Versatilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Acceso al código	Concepto 1	Concepto 2	$\sum +1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 39.

Tabla 39*Selección de concepto para el software de desarrollo de la App*

	Complejidad	Versatilidad	Acceso al código	TOTAL
Concepto 1	0.221	0.165	0.056	0.442
Concepto 2	0.109	0.335	0.114	0.558
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que Android Studio es la mejor alternativa para el desarrollo de la App que usará el robot para interactuar con los usuarios.

Submódulo Procesos

Para la selección de procesos se realizó una consulta a la Mgs. Verónica García, que recomendó las rutinas que más complejidad representan para los niños, las cuales son:

- Proceso de “Ir al baño”.
- Proceso de “Cepillarse los dientes”.
- Proceso de “Cortarse el cabello”.

3.4.8 Módulo Identificación de proceso

Submódulo Tecnología de identificación de proceso

Este submódulo se enfoca en la tecnología más eficaz para la identificación del proceso, para lo cual se tiene las siguientes alternativas:

a) Código QR

Es un tipo de código de barras bidimensional que permite guardar información en una matriz de puntos. Es una herramienta de bajo costo con gran versatilidad. Entre sus aplicaciones se encuentran la identificación de productos en inventarios, información de alimentos, comercio electrónico, enlaces de sitios web, entre otros.

b) RFID

Esta tecnología trata la identificación por radiofrecuencia a través de un lector y una tarjeta o etiqueta. Como ventaja se puede resaltar su rapidez, fiabilidad y precisión, no requiere línea directa de visión, además de tener una larga vida útil.

A continuación, se enlista los criterios en los que se evaluarán las alternativas para la tecnología de identificación de los procesos:

- Precisión
- Costo
- Velocidad de lectura

En la Tabla 40 se muestra la ponderación de cada criterio para el tipo de tecnología de identificación de proceso.

Tabla 40

Ponderación de criterios para el tipo de tecnología de identificación de procesos

	Precisión	Costo	Velocidad de lectura	$\sum + 1$	Ponderación
Precisión	-	1	1	3	0.5
Costo	0	-	0	1	0.17
Velocidad de lectura	0	1	-	2	0.33
	TOTAL			6	1

Se establece los conceptos de la siguiente manera:

- Concepto 1: Código QR
- Concepto 2: RFID

En la Tabla 41 se realiza la ponderación para cada concepto mediante los criterios definidos.

Tabla 41

Ponderación de conceptos frente a cada criterio para la identificación de procesos

Precisión	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1
Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	1	2	0.67
Concepto 2	0	-	1	0.33
TOTAL			3	1
Velocidad de lectura	Concepto 1	Concepto 2	$\sum + 1$	Ponderación
Concepto 1	-	0	1	0.33
Concepto 2	1	-	2	0.67
TOTAL			3	1

Para la selección de concepto se multiplica la ponderación del criterio por la obtenida en la ponderación del concepto. Se muestra el resultado en la Tabla 42.

Tabla 42*Selección de concepto para el tipo de tecnología de identificación de procesos*

	Precisión	Costo	Velocidad de lectura	TOTAL
Concepto 1	0.165	0.114	0.109	0.388
Concepto 2	0.335	0.056	0.221	0.612
TOTAL				1

Tomando en cuenta este resultado se define que la tecnología RFID es la mejor alternativa para el tipo de tecnología de identificación de procesos.

3.5 Concepto Final de Diseño

En la Tabla 43 se detalla los resultados de la selección de conceptos.

Tabla 43*Concepto final del diseño*

Concepto Final del Diseño		
Módulo	Submódulos	Conceptos Finales
Estructura del robot	Fabricación	Impresión 3D
Estructura del área de trabajo	Material	Madera MDF
Movimiento	Mecanismo del cuello	Mecanismo de 3-DOF
	Mecanismo del dispensador	Mecanismo Biela-Manivela
Control	Software de control	Python
Eléctrico y Electrónico	Placa de desarrollo	Arduino
	Actuadores	Servomotor
	Sensores	Sensor Infrarrojo

CONTINÚA

Visión Artificial	Detección y seguimiento de colores	Filtro HSV
Tratamiento - Interacción	Diseño estético	Humanoide
	App	Android Studio
	Procesos	Proceso de “Ir al baño”. Proceso de “Cepillarse los dientes”. Proceso de “Cortarse el cabello”.
Identificación de Proceso	Tecnología de identificación de proceso	RFID

3.6 Diseño y análisis

3.6.2 Diseño mecánico

Cálculo de Torques

Para el cálculo de los torques se utilizará la cinemática directa del cuello del robot a partir de los siguientes datos conocidos, obtenidos del sistema simulado de software CAD y de las especificaciones de los elementos.

- Longitudes de un eslabón a otro:

$$l_1 = 57.6 [mm] = 0.0576 [m]$$

$$l_2 = 62.3 [mm] = 0.0623 [m]$$

$$l_3 = 17.5 [mm] = 0.0175[m]$$

- Masa de eslabones:

$$m_1 = 73.78 \text{ [g]} = 0.07378 \text{ [kg]}$$

$$m_2 = 72.12 \text{ [g]} = 0.07212 \text{ [kg]}$$

$$m_3 = 1206.04 \text{ [g]} = 1.20604 \text{ [kg]}$$

Mediante la representación de Denavit-Hartenberg que se muestra en la Tabla 44 se obtiene la cinemática directa del robot, para la determinación de los parámetros se obtienen de la representación gráfica mostrada en la Figura 32.

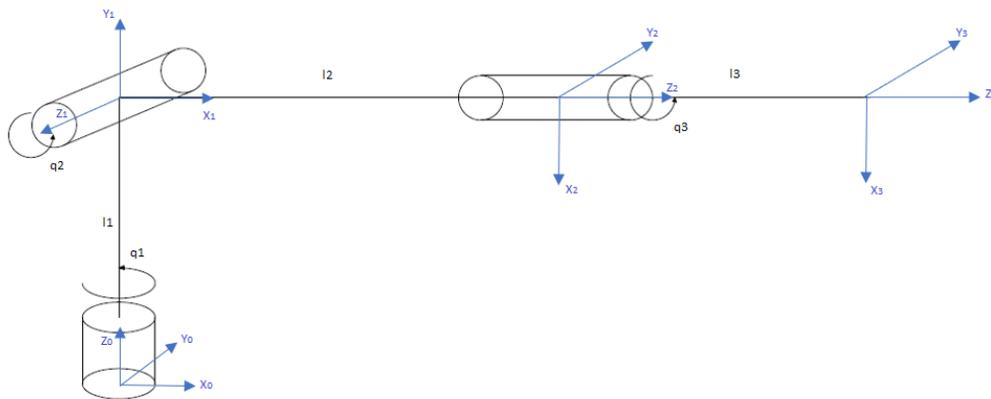


Figura 32. Cinemática directa del robot
Fuente: (AutoCAD)

Tabla 44
Parámetros Denavit-Hartenberg

	θ	d	a	α
0H_1	q_1	l_1	0	90
1H_2	$q_2 - 90$	0	0	-90
2H_3	q_3	$l_2 + l_3$	0	0

A continuación, se desarrolla la matriz homogénea

$${}^0H_3 = {}^0H_1 \times {}^1H_2 \times {}^2H_3 \quad (1)$$

$${}^0H_1 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 0 \\ \sin(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1H_2 = \begin{bmatrix} \sin(q_2) & 0 & \cos(q_2) & 0 \\ -\cos(q_2) & 0 & \sin(q_2) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2H_3 = \begin{bmatrix} \cos(q_3) & -\sin(q_3) & 0 & 0 \\ \sin(q_3) & \cos(q_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_2 + l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0H_3 =$$

$$\begin{bmatrix} \cos(q_1)\cos(q_3)\sin(q_2) - \sin(q_1)\sin(q_3) & -\cos(q_3)\sin(q_1) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) \\ \cos(q_1)\sin(q_3) + \cos(q_3)\sin(q_1)\sin(q_2) & \cos(q_1)\cos(q_3) - \sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) \\ -\cos(q_2)\cos(q_3) & \cos(q_2)\sin(q_3) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos(q_1)\cos(q_2) & l_2\cos(q_1)\cos(q_2) + l_3\cos(q_1)\cos(q_2) \\ \cos(q_2)\sin(q_1) & l_2\cos(q_2)\sin(q_1) + l_3\cos(q_2)\sin(q_1) \\ \sin(q_2) & l_1 + l_2\sin(q_2) + l_3\sin(q_2) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para obtener el valor del torque se utiliza el método de Euler-Lagrange, empezando por el Jacobiano de cada eslabón:

$$J_{vi} = {}^0R_{i-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times ({}^0r_n - {}^0r_{i-1}) \quad (2)$$

$$J_{wi} = {}^0R_{i-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Para $J1$

$$J1_{v1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J1_{w1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$J1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Para $J2$

$$J2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin(q_1) & 0 \\ 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Para $J3$

$$J_3 = \begin{bmatrix} -(l_2 + l_3)\cos(q_2)\sin(q_1) & -(l_2 + l_3)\cos(q_1)\sin(q_2) & 0 \\ (l_2 + l_3)\cos(q_1)\cos(q_2) & -(l_2 + l_3)\sin(q_1)\sin(q_2) & 0 \\ 0 & (l_2 + l_3)\cos(q_2) & 0 \\ 0 & \sin(q_1) & \cos(q_1)\cos(q_2) \\ 0 & -\cos(q_1) & \cos(q_2)\sin(q_1) \\ 1 & 0 & \sin(q_2) \end{bmatrix}$$

Mediante el Jacobiano se puede obtener las velocidades lineales y angulares

$$\dot{x} = -\dot{q}_1(l_2 + l_3)\cos(q_2)\sin(q_1) - \dot{q}_2(l_2 + l_3)\cos(q_1)\sin(q_2)$$

$$\dot{y} = \dot{q}_1(l_2 + l_3)\cos(q_1)\cos(q_2) - \dot{q}_2(l_2 + l_3)\sin(q_1)\sin(q_2)$$

$$\dot{z} = \dot{q}_2(l_2 + l_3)\cos(q_2)$$

$$w_x = \dot{q}_2\sin(q_1) + \dot{q}_3\cos(q_1)\cos(q_2)$$

$$w_y = -\dot{q}_2\cos(q_1) + \dot{q}_3\cos(q_2)\sin(q_1)$$

$$w_z = \dot{q}_3\sin(q_2)$$

Para la energía cinética se tiene

$$k = kw_1 + kw_2 + kw_3$$

$$Kt = \frac{1}{2}w_1^T I_1 w_1 + \frac{1}{2}w_2^T I_2 w_2 + \frac{1}{2}w_3^T I_3 w_3 \quad (4)$$

$$w_i = {}^0R_i^T J_{wi} \dot{q} \quad (5)$$

Para energía potencial se tiene

$$V_n = W_n h_n \quad (6)$$

Se calcula velocidades angulares

$$w_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{q}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$w_2 = \begin{bmatrix} -\dot{q}_1 \cos(q_2) \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_1 \sin(q_2) \end{bmatrix}$$

$$w_3 = \begin{bmatrix} -\dot{q}_2 \sin(q_3) - \dot{q}_1 \cos(q_2) \cos(q_3) \\ \dot{q}_1 \cos(q_2) \sin(q_3) - \dot{q}_2 \cos(q_3) \\ \dot{q}_1 \sin(q_2) \end{bmatrix}$$

Se obtiene la inercia de cada eslabón mediante software CAD ingresando propiedades físicas del material

$$I_{e1} = 10^{-9} \begin{pmatrix} 82790.98 & -685.24 & 14898.76 \\ -685.24 & 82674.77 & -3908.22 \\ 14898.76 & -3908.22 & 32429.29 \end{pmatrix} [Kg.m^2]$$

$$I_{e2} = 10^{-9} \begin{pmatrix} 87359.08 & 8137.28 & 22392.07 \\ 8137.28 & 91069.46 & 20678.91 \\ 22392.07 & 20678.91 & 48706.05 \end{pmatrix} [Kg.m^2]$$

$$I_{e3} = 10^{-9} \begin{pmatrix} 8617903.30 & -71477.09 & 1240599.67 \\ -71477.09 & 7462395.43 & -25223.81 \\ 1240599.67 & -25223.81 & 10421141.15 \end{pmatrix} [Kg.m^2]$$

El Lagrangiano viene dado por:

$$L = K - V \quad (7)$$

K: Energía cinética

V: Energía potencial

El valor de los torques de cada eslabón se obtiene mediante:

$$\tau_n = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} \quad (8)$$

Para el cálculo de los torques se realizó un algoritmo en Matlab para la simplificación del cálculo, la Figura 33 muestra la variación del torque de cada motor según el ángulo de giro.

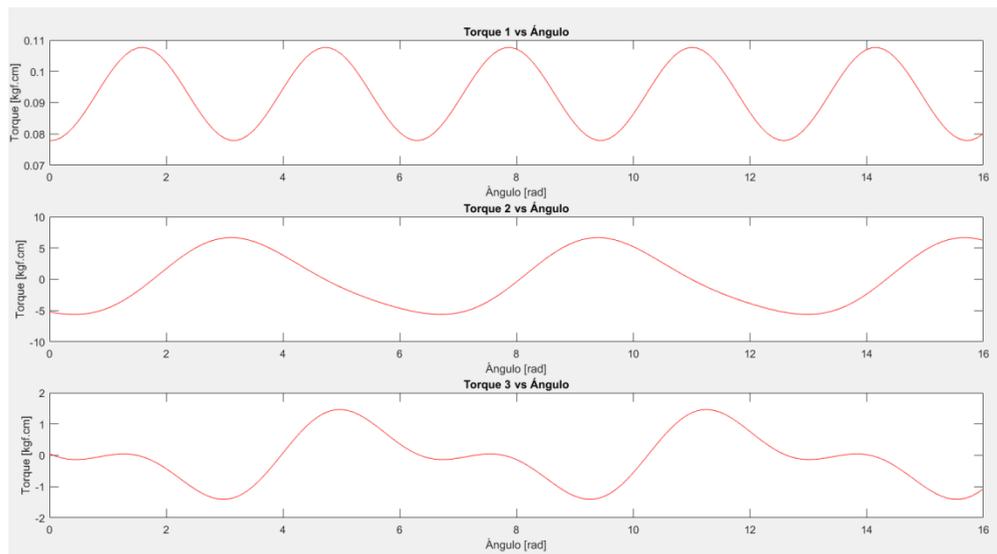


Figura 33. Gráfica del Torque 1 vs Ángulo
Fuente: (Matlab)

$$\tau_{1max} = 0.107682512628589 \text{ kgf.cm}$$

$$\tau_{2max} = 6.672399776051578 \text{ kgf.cm}$$

$$\tau_{3max} = 1.463797796543974 \text{ kgf.cm}$$

Con estos resultados, se ha consultado en el mercado para la selección del servomotor y se ha seleccionado el MG996R que tiene un torque de 11 kgf.cm .

Sistema biela-manivela

La Figura 34 muestra el tipo de mecanismo biela-manivela que se utilizará en el dispensador, tomando en cuenta la altura del servomotor debido al acople del mismo.

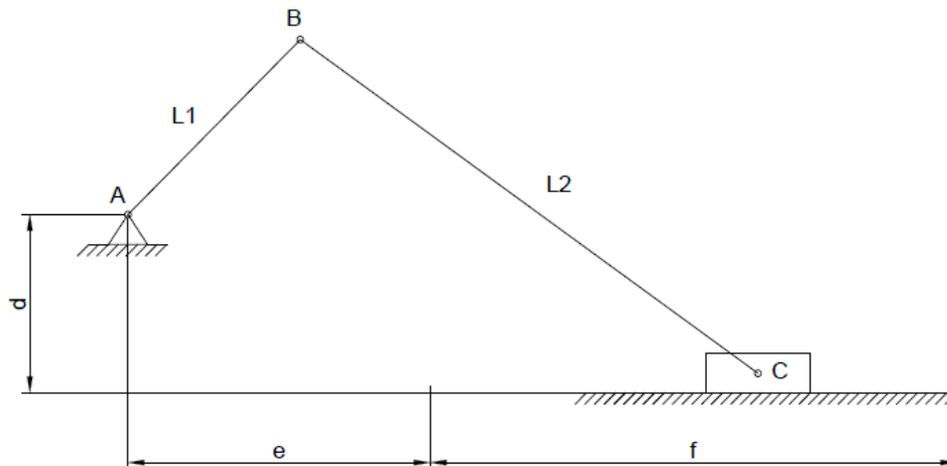


Figura 34. Mecanismo biela-manivela del dispensador

Fuente: (AutoCAD)

Para el análisis se toma en cuenta las dos posiciones colineales de los brazos, para el caso 1 como se observa en la Figura 35 que corresponde a la posición inicial del servomotor de 0° y para el caso 2 como se observa en la Figura 36 que corresponde a la posición final del servomotor de 180° , para lo que se tiene:

- Caso 1:

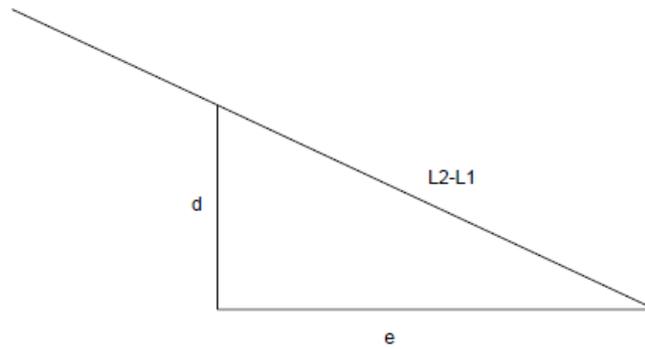


Figura 35. Brazo colineales caso 1
Fuente: (AutoCAD)

$$L2 - L1 = \sqrt{d^2 + e^2}$$

- Caso 2

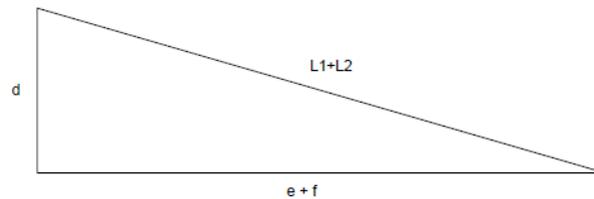


Figura 36. Brazos colineales caso 2
Fuente: (AutoCAD)

$$L2 + L1 = \sqrt{d^2 + (e + f)^2}$$

Para el diseño se puede reducir las ecuaciones en:

$$L1 = L2 - \sqrt{d^2 + e^2} = -L2 + \sqrt{d^2 + (e + f)^2}$$

$$\therefore L2 = \frac{\sqrt{d^2 + (e + f)^2} + \sqrt{d^2 + e^2}}{2} \quad (9)$$

$$\therefore L1 = \frac{\sqrt{d^2 + (e + f)^2} - \sqrt{d^2 + e^2}}{2} \quad (10)$$

Tomando en cuenta la altura del motor con los acoples y como carrera la longitud de las tarjetas se tiene:

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$f = 65 \text{ mm}$$

$$e = 35.8 \text{ mm}$$

$$L1 = 31.55 \text{ mm}$$

$$L2 = 70.36 \text{ mm}$$

Se realiza la simulación del diseño en el software SAM y se obtiene una gráfica de las velocidades como se observa en la Figura 37 y de aceleraciones en la Figura 38, para elemento de salida.

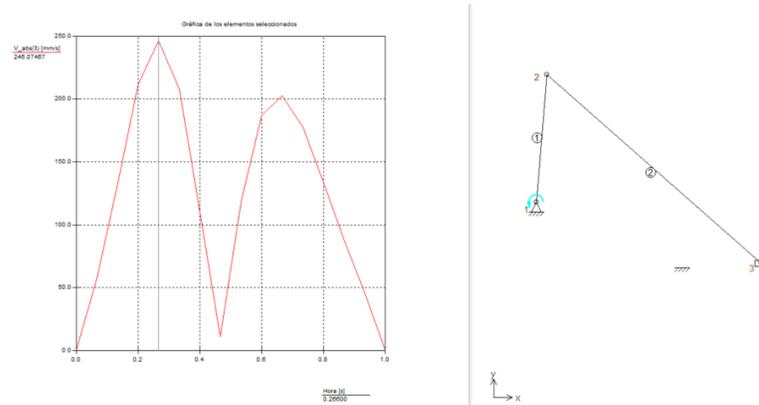


Figura 37. Gráfica de velocidad para el diseño
Fuente: (SAM)

$$V_{max} = 246.07 [mm/s]$$

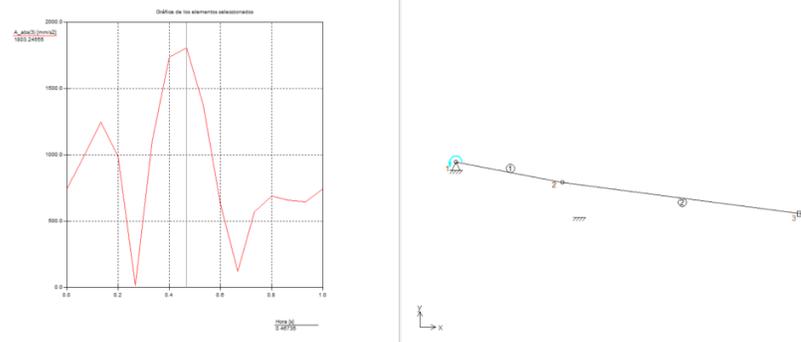


Figura 38. Gráfica de aceleración para el diseño

Fuente: (SAM)

$$A_{max} = 1803.25 [mm/s^2]$$

Análisis de esfuerzos

Mediante la selección de material y las propiedades físicas propuestas por el fabricante se realiza una simulación en software CAD de los esfuerzos principales en el robot.

- Cuerpo del robot

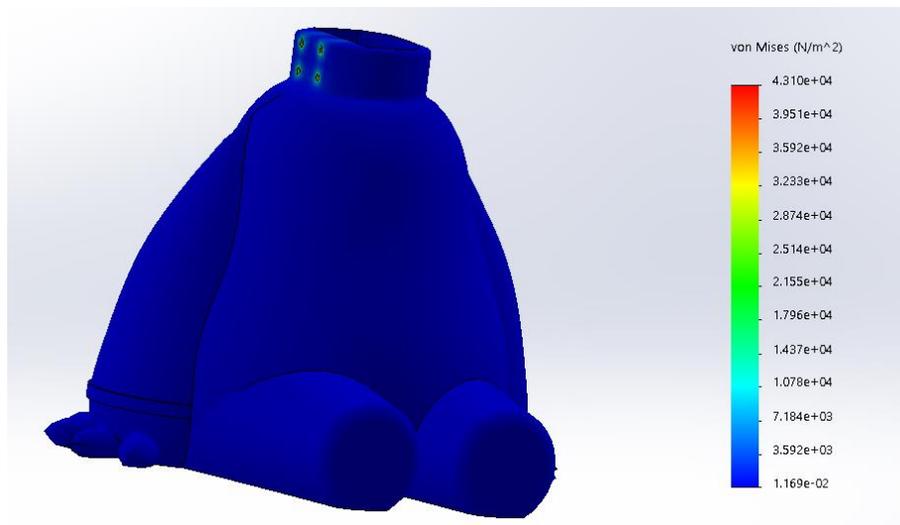


Figura 39. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en cuerpo

Fuente: (Software CAD)

En la Figura 39 se puede observar que el esfuerzo máximo por la carga que soporta el cuello del cuerpo es de $4.310e + 04 \text{ N/m}^2$ que está por debajo del soportado por el material ABS para impresión 3D. Se ha seleccionado el material ABS sobre el PLA debido a que tiene una mayor resistencia y es el elemento que soporta mayor carga

- Soporte de servomotor

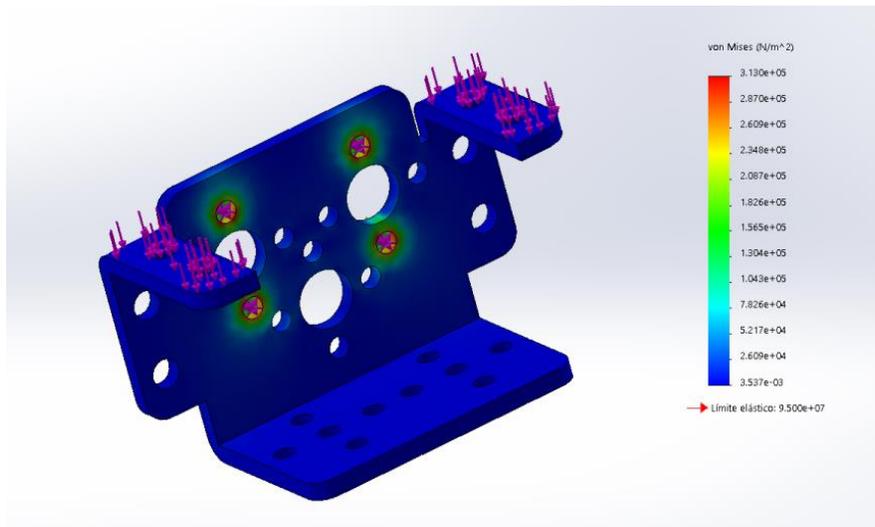


Figura 40. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte de motor en cuello
Fuente: (Software CAD)

En la Figura 40 se observa el resultado del análisis estático realizado en el soporte del motor que se coloca en el cuello, el esfuerzo máximo que soporta es de $3.130e + 05 \text{ N/m}^2$ que está por debajo del soportado por el material duraluminio.

- Soporte U de servomotor

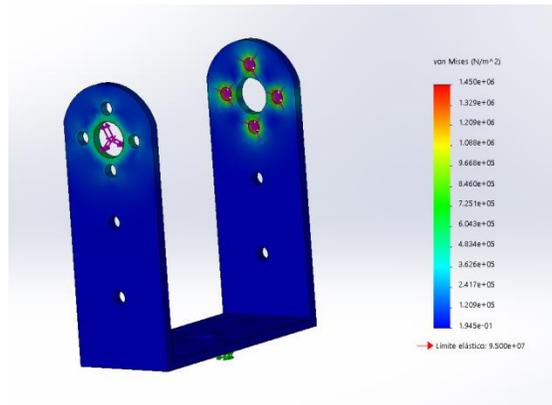


Figura 41. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte U de motor en cuello
Fuente: (Software CAD)

En la Figura 41 se observa el resultado del análisis estático realizado en el soporte U del motor que se coloca en el cuello, el esfuerzo máximo que soporta es de $1.450e + 06 \text{ N/m}^2$ que está por debajo del soportado por el material duraluminio.

- Soporte de pantalla

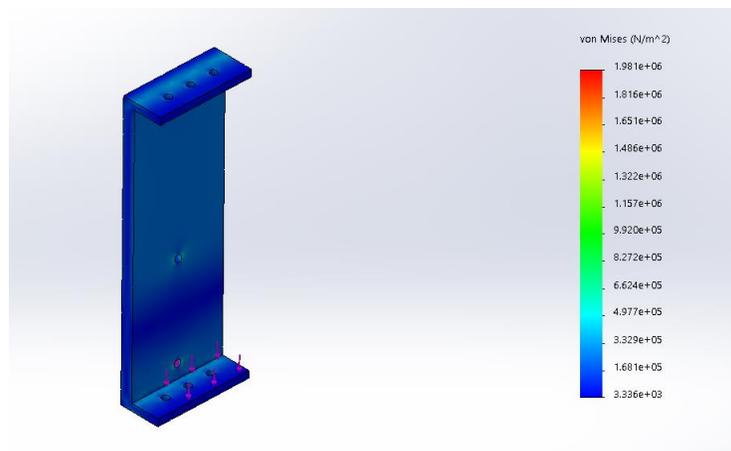


Figura 42. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en soporte de pantalla
Fuente: (Software CAD)

En la Figura 42 se observa el resultado del análisis estático realizado en el soporte de la pantalla, el esfuerzo máximo que soporta es de $1.981e + 06 \text{ N/m}^2$ que está por debajo del soportado por el material filamento PLA.

- Base del robot

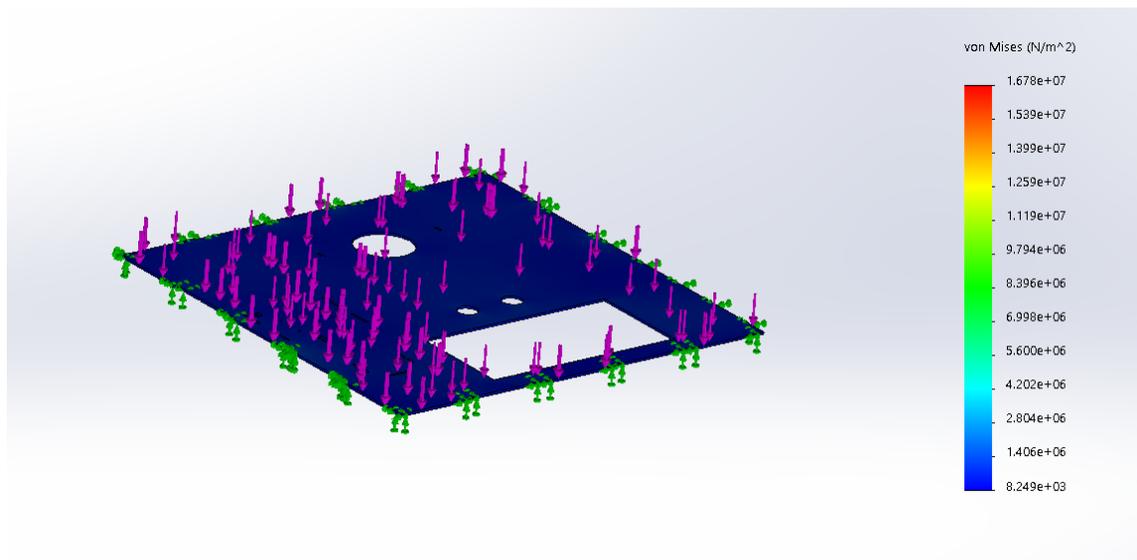


Figura 43. Análisis estático para esfuerzo Von Mises en la base del robot
Fuente: (Software CAD)

En la Figura 43 se observa el resultado del análisis estático realizado en la base del robot, el esfuerzo máximo que soporta es de $1.678e + 07 \text{ N/m}^2$ que está por debajo del soportado por el material MDF.

3.6.3 Diseño electrónico

Sensores infrarrojos

Para la detección de cada tarjeta, se determinó en la sección de conceptos que los sensores infrarrojos iban acordes con las necesidades del sistema, estos sensores necesitan acondicionamiento para la lectura analógica correcta en el Arduino.

El diseño del circuito de acondicionamiento se realizó en el software Proteus y se observa en la Figura 44 la vista esquemática.

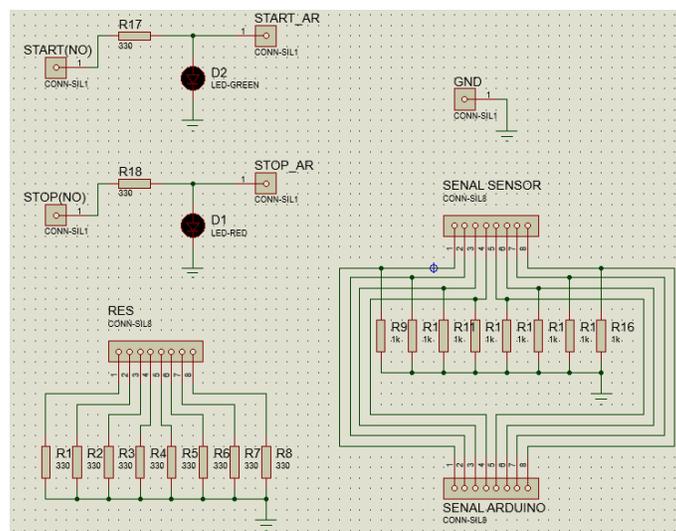


Figura 44. Vista esquemática del circuito de acondicionamiento

Fuente: (Proteus)

En la Figura 45 se observa el diseño de la PCB y en la Figura 46 una vista 3D de la placa del circuito de acondicionamiento.

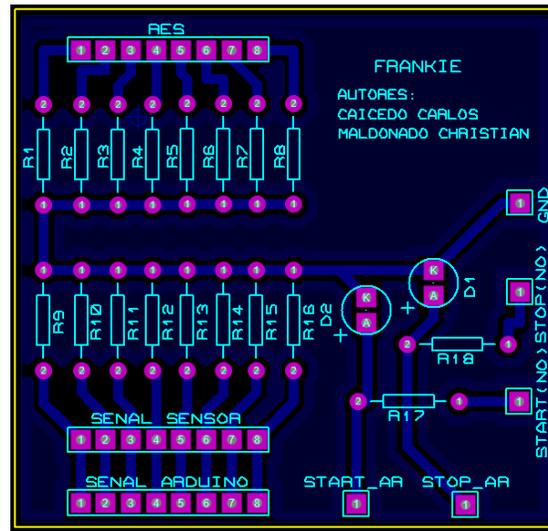


Figura 45. Diseño de PCB

Fuente: (Proteus)

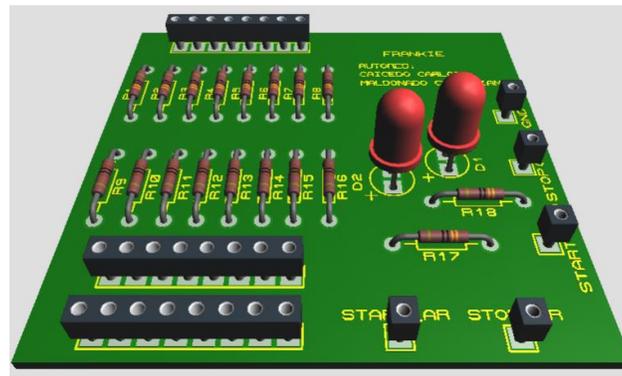


Figura 46. Vista 3D de placa

Fuente: (Proteus)

3.6.4 Diseño simulado

En la Figura 47 se muestra el diseño final del sistema simulado y en la Tabla 45 se detallan sus componentes principales.

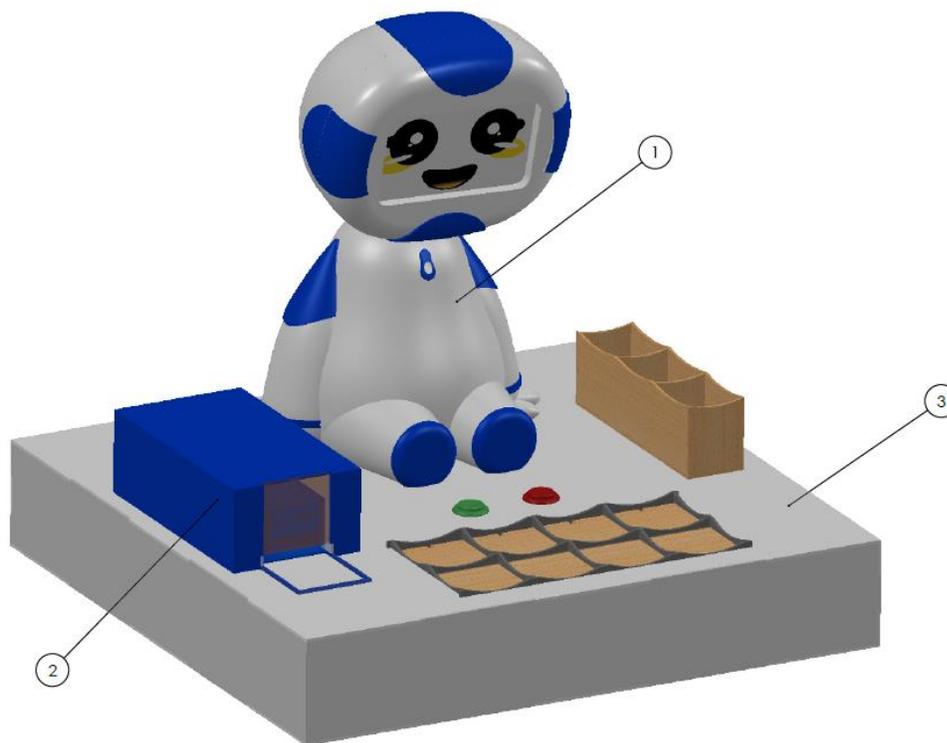


Figura 47. Diseño final del sistema

Fuente: (Software CAD)

Tabla 45

Componentes principales del sistema

Marca	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Robot Frankie	Varios
2	1	Dispensador	Varios
3	1	Área de trabajo	Varios

En la Figura 48 se muestra la vista explosionada del robot y en la Tabla 46 sus respectivos componentes.

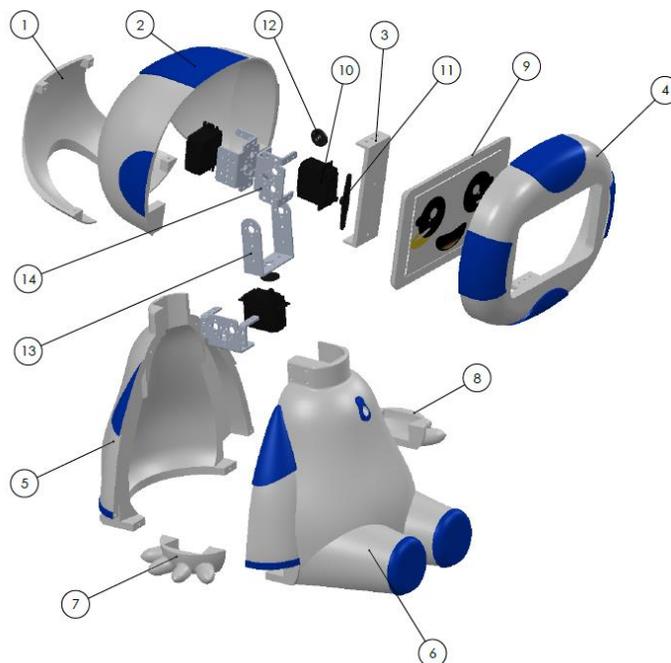


Figura 48. Diseño de robot simulado
Fuente: (Software CAD)

Tabla 46

Componentes de robot

Marca	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Tapa trasera	PLA
2	1	Cabeza posterior	PLA
3	1	Sujetador de pantalla	PLA
4	1	Cabeza frontal	PLA
5	1	Cuerpo posterior	ABS
6	1	Cuerpo frontal	ABS
7	1	Mano derecha	ABS
8	1	Mano izquierda	ABS
9	1	Tablet Android 7''	Varios
10	3	Servomotor MG996R	Varios
11	1	Acople de servomotor	Plástico
12	2	Acople circular de servomotor	Plástico
13	1	Bracket de servomotor U	Aluminio duro
14	3	Bracket de servomotor	Aluminio Duro

La Figura 49 muestra el diseño final del dispensador en vista explosionada y en las Tabla 47 se detallan sus componentes

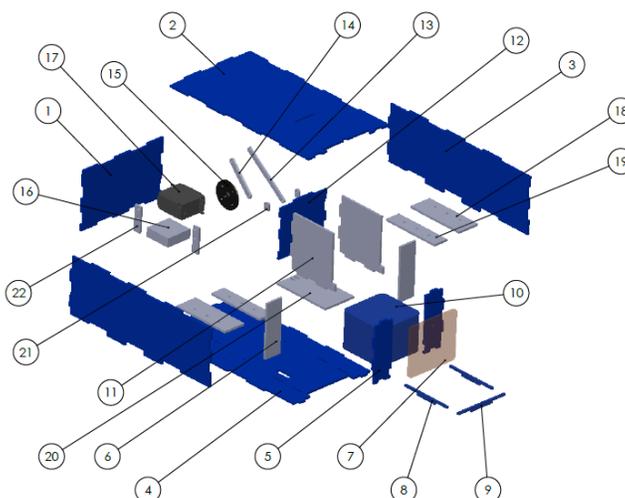


Figura 49. Diseño de dispensador simulado
Fuente: (Software CAD)

Tabla 47

Componentes del dispensador

Marca	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Pared posterior	MDF
2	1	Pared superior	MDF
3	2	Pared lateral	MDF
4	1	Base	MDF
5	2	Pared frontal	MDF
6	2	Guía de puerta	MDF
7	1	Puerta	Acrílico
8	2	Guía de tarjeta	MDF
9	1	Tope de tarjeta	MDF
10	24	Tarjeta	MDF
11	2	Pared lateral de tarjeta	MDF
12	1	Pared posterior de tarjeta	MDF

CONTINÚA

Tabla 48*Componentes del área de trabajo*

Marca	Cantidad	Denominación	Material
1	1	Pared posterior	MDF
2	1	Pared lateral derecha	MDF
3	1	Pared lateral izquierda	MDF
4	1	Pared frontal	MDF
5	1	Tapa superior	MDF
6	1	Base	MDF
7	2	Tapa frontal de portatarjetas	MDF
8	2	Tapa lateral de portatarjetas	MDF
9	2	Separador de tarjetas	MDF
10	1	Base de portatarjetas	MDF
11	1	Guía inferior de bandeja	MDF
12	1	Base de soporte de módulo	MDF
13	2	Lateral de soporte de módulo	MDF
14	1	Frontal de soporte de módulo	MDF
15	2	Pared frontal de matriz	Acrílico
16	1	Separador horizontal de matriz	Acrílico
17	5	Separador vertical de matriz	Acrílico
18	2	Guía de bandeja	MDF
19	3	Bandeja	MDF
20	3	Sujetador de bandeja	MDF
21	2	Botón arcade	Varios

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En el capítulo se detalla el proceso de construcción de los elementos mecánicos, la implementación de los componentes electrónicos y programación de algoritmos de control de acuerdo al diseño propuesto en el capítulo anterior.

Además, las respectivas pruebas de funcionamiento de sus elementos modulares.

4.1 Construcción

4.1.1 Construcción mecánica

Debido a que el material seleccionado para la estructura del robot es PLA+ mediante impresión 3D (ver capítulo 3), el cual empieza desde un diseño CAD (ver Figura 51) a una réplica real del cuerpo, cabeza, manos, mecanismo del cuello; por lo cual se los compara en la

Tabla 49.

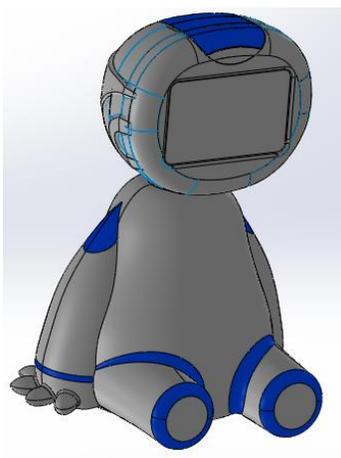
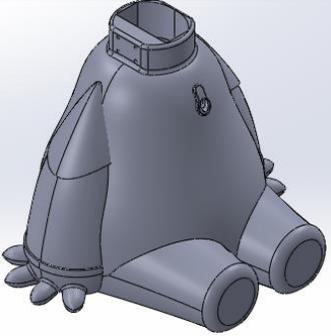
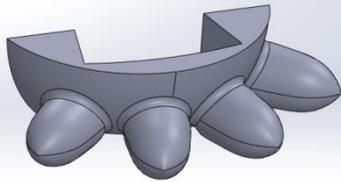
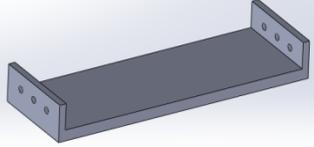
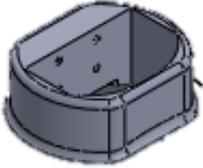


Figura 51. Diseño CAD de la estructura del robot
Fuente: (Software CAD)

Tabla 49*Comparativa de diseño e impresión de los elementos de la estructura*

Descripción	Diseño CAD	Impresión 3D
Cuerpo		
Cabeza – Parte frontal		
Cabeza – Parte trasera		
Manos		
Sujetador Tablet		
Cuello		

El principal inconveniente de las impresoras 3D es su acabado un tanto áspero en el material PLA+; debido a que un requerimiento para la interacción con los niños con TEA es un entorno amigable, se procede a mejorar el aspecto colocando macilla fina, puliendo la superficie y finalmente pintándola como se observa en la Figura 52.



Figura 52. a) Colocación de macilla b) Pulido
c) Pintado d) Acabado superficial

La base, las bandejas de las rutinas, el dispensador de tarjetas y el almacenamiento de las mismas se realizan mediante corte láser de madera MDF, y se procede a recubrirlas con pintura laca para aumentar su vida útil como se muestran en la Figura 53.



Figura 53. a) Corte láser en MDF b) Bandeja con grabado de rutina

4.1.2 Construcción electrónica

La implementación de elementos electrónicos consiste en la elección y ubicación de sensores y actuadores para el desarrollo del robot.

Sensores infrarrojos

El sensor seleccionado es el QRD114 ya que es un transductor de proximidad reflectivo con un bajo consumo energético, además de costo y disponibilidad accesibles.

Para la lectura del microcontrolador es necesario un circuito de acondicionamiento que permita el paso de corriente cuando se detecte una tarjeta (ver Figura 54).

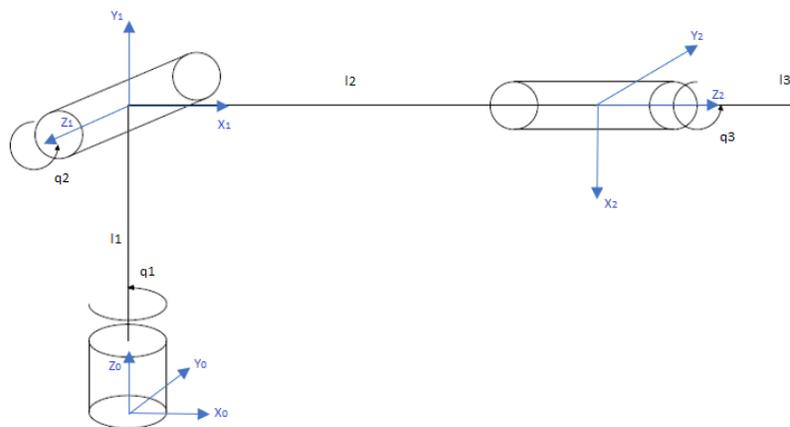
Mecanismo de cuello para motores

Para que el movimiento del cuello sea de manera similar al ser humano, se escoge soportes de duraluminio (ver Figura 56) elaborados para los actuadores seleccionados, y se los coloca con una disposición que se obtenga 3 DOF como se observa en Figura 57.



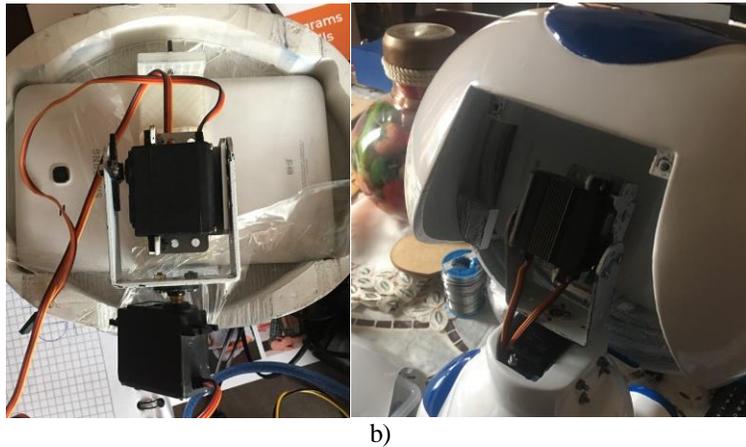
Figura 56. Soportes de servomotor

Fuente: (RAMBAL, 2019)



a)

CONTINÚA



b)
Figura 57. a) Disposición de actuadores en el cuello
 b) Soportes implementados

4.1.3 Pictogramas

Distintos estudios han evidenciado que el sentido de la vista es el que mejor se conserva en el Trastorno del Espectro Autista, de tal manera que las personas con autismo tienden a utilizar el sector del cerebro de procesamiento visual para solucionar todo tipo de tareas.

Para alguien que no comprende las reglas sociales o lenguaje verbal, los pictogramas ayudan a los niños comprender el entorno a su alrededor y también para comunicarse con los demás ya que es un estímulo muy estable. (Herrera, 2017)

Por recomendación de la Mgs. Verónica García, neuropsicología clínica de la “Fundación Hellen Keller”, las rutinas que más atención pedagógica necesitan los niños con TEA del centro son:

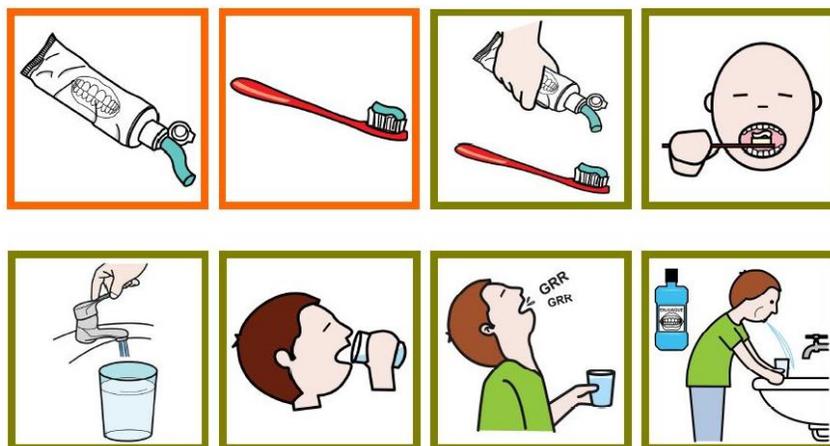
- Orinar
- Cepillado de dientes
- Corte de cabello

Para elegir los pictogramas adecuados se busca imágenes con licencia libre para compartir y adaptar su información sin solicitar el permiso del autor. La licencia mencionada es la CC BY-NC-SA, la cual permite compartir, transformar su contenido, pero no de manera comercial. Los procesos seleccionados se muestran en la Figura 58.

Imágenes con licencia CC BY-NC-SA de las rutinas



a)



b)

CONTINÚA



c)

Figura 58. a) Rutina Orinar b) Rutina Cepillarse los dientes c) Rutina Corte de cabello

Fuente: (Palao)

Para la selección de colores se evalúa el contraste con la imagen, es decir, que al cambiar el color de fondo, no altere la comprensión del pictograma por parte del niño y a su vez resalte la ilustración. Los colores elegidos son: rojo, amarillo, café, azul, verde, púrpura, celeste y gris.

En las Figura 59 se observa el aspecto final de cada grupo de pictogramas de acuerdo a la rutina seleccionada.



a)

CONTINÚA



b)



c)

Figura 59. a) Pictogramas de Orinar (Hombre)
 b) Cepillado de dientes y
 c) Corte de cabello

4.2 Ensamblaje

Para el acople de los elementos mencionados se lo realiza de acuerdo a su módulo estructural en los siguientes pasos:

Base

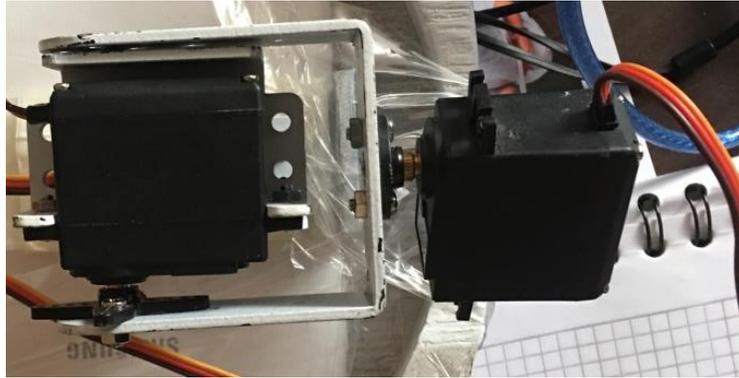
- Unión de piezas superiores y laterales de la estructura base.
- Colocación de sensores y circuito de acondicionamiento
- Realizar el correcto cableado para componentes electrónicos (ver Figura 60).
- Ubicación de fuente de poder DC y microcontrolador Arduino.
- Colocar la parte inferior de la base.
- Unión de las piezas correspondientes para el almacenamiento de tarjetas.



Figura 60. Sensores, botones y cableado de elementos electrónicos

Cabeza – Tronco del robot

- Poner los soportes con sus respectivos servomotores en el cuello de acuerdo a la disposición acordada (ver Figura 61 – a).
- Ubicación del elemento sujetador para la Tablet.
- Incorporar la Tablet y las carcasas externas de la cabeza, uniendo mediante tornillos (ver Figura 61 – b).
- Colocar la cámara en la ranura asignada.
- Conexión de servos y cámara al microcontrolador.



a)



b)

Figura 61. a) Soportes de servomotores
b) Tablet en carcasa y tapa de cabeza del robot

Dispensador

- Unión de brazos para el mecanismo biela - manivela.
- Ubicación del actuador que otorgue el movimiento circular al mecanismo (ver Figura 62 - a).
- Colocar las piezas externas para cerrar el dispensador (ver Figura 62 - b).
- Fijar toda la estructura encima de la base (ver Figura 62 - c).



a)



b)



c)

Figura 62. a) Mecanismo biela manivela
b) Dispensador
c) Estructura del robot en la base

4.2.1 Análisis dimensional y pruebas modulares

Se evalúa mediante inspección visual y geométrica las dimensiones de la estructura física (ver Tabla 50).

Tabla 50

Análisis dimensional del robot

Elemento	Evaluación	Inspección	Estado
Base	Longitud	Geométrica	✓
Cuerpo del robot	Apariencia	Visual	✓
Cabeza del robot	Apariencia	Visual	✓
Dispensador	Longitud	Geométrica	✓
Porta tarjetas	Longitud	Geométrica	✓
Bandejas	Longitud	Geométrica	✓
Tarjetas	Apariencia	Visual	✓
	Longitud	Geométrica	✓

También se examina el correcto funcionamiento de sensores y actuadores ante estímulos eléctricos básicos (ver Tabla 51).

Tabla 51

Pruebas modulares del robot

Elemento	Evaluación	Valor	Estado	Corrección
Motor 1 - Cabeza	Ángulo	60° - 140°	✓	
Motor 2 - Cabeza	Ángulo	100° - 115	✗	Mover eje referencial
	Ángulo	100° - 115	✓	
Motor 3 - Cabeza	Ángulo	90° - 110°	✓	

CONTINÚA

Motor 4 - Dispensador	Ángulo	7° - 80°	×	Aumentar grado para sacar tarjeta entera
	Ángulo	7° - 100°	✓	
Botón START	Acción	0, 1	✓	
Botón RESET	Acción	0, 1	✓	
Sensor 1	Detección	1 cm	✓	
Sensor 2	Detección	1 cm	✓	
Sensor 3	Detección	1 cm	×	Calibrar valores
	Detección	1 cm	✓	
Sensor 4	Detección	1 cm	✓	
Sensor 5	Detección	1 cm	✓	
Sensor 6	Detección	1 cm	✓	
Sensor 7	Detección	1 cm	✓	
Sensor 8	Detección	1 cm	×	Calibrar valores
	Detección	1 cm	✓	
Módulo RFID	Detección	Bandeja 1	✓	
Módulo RFID	Detección	Bandeja 2	✓	
Módulo RFID	Detección	Bandeja 3	✓	
Paro de Emergencia	Corte de energía	120 V	×	Soldar cables a botón
	Corte de energía	120 V	✓	

Ya realizada la inspección de los componentes mecánicos y electrónicos, el ensamble del robot social llamado “Frankie” se observa en la Figura 63.

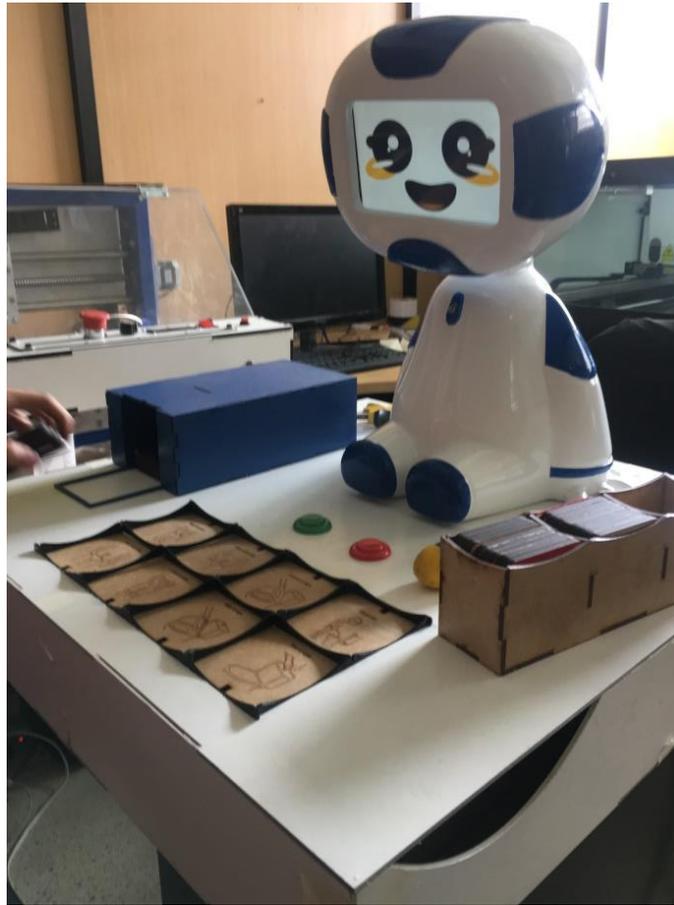


Figura 63. Aspecto del robot "Frankie"

4.3 Programación

La unión pragmática de todos los componentes se los realiza a través de la programación. Para cumplir con los objetivos del proyecto es necesario analizar la secuencia para una interacción natural del robot con los niños con TEA, por lo que se realiza un diagrama de flujo general con todos los procedimientos a los que debe responder el robot, como se visualiza en la Figura 64.

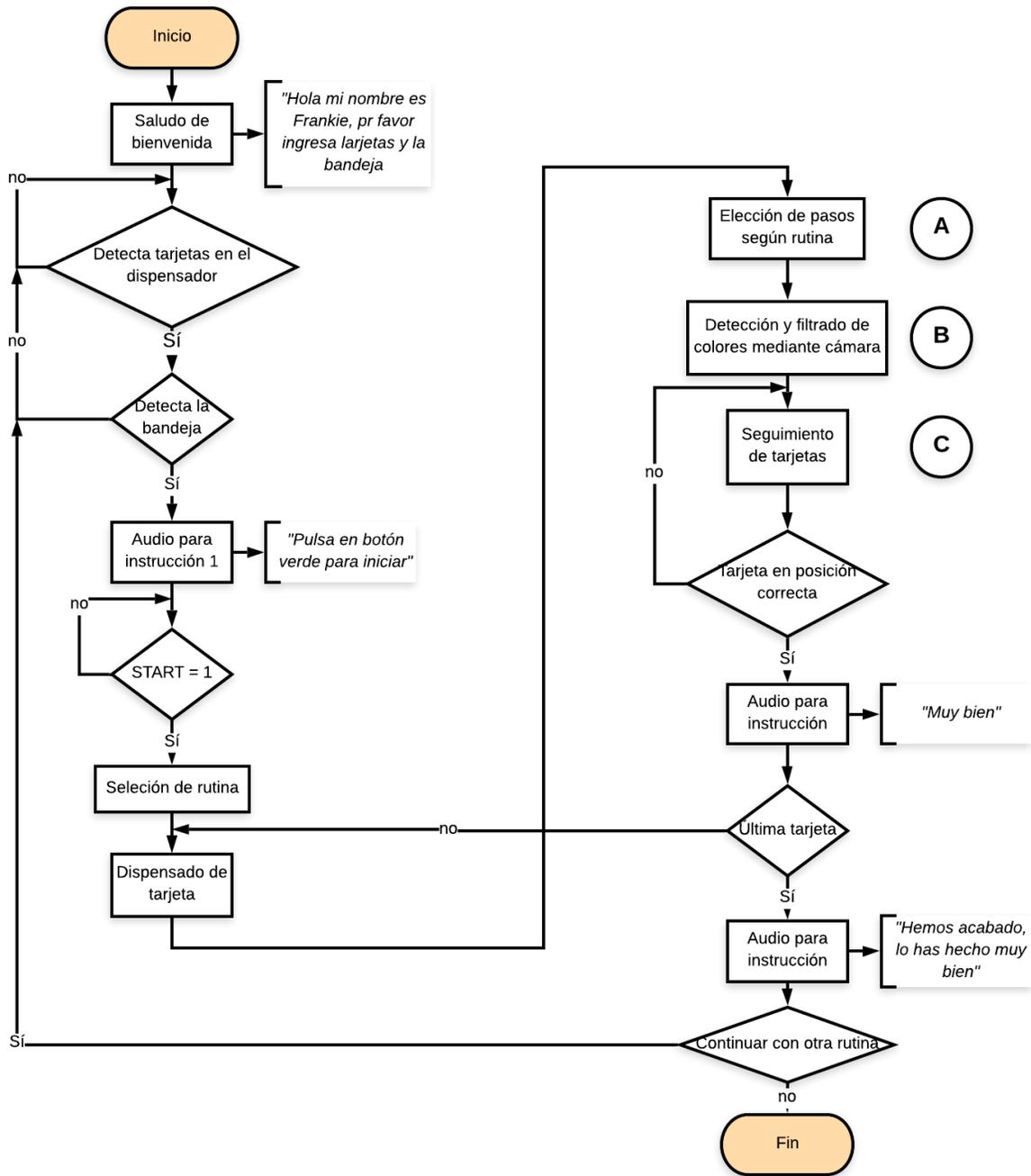


Figura 64. Diagrama de flujo general del robot
Fuente: (Lucidchart)

Del diagrama se analiza por separado de manera más detallada procedimientos cruciales del robot, que son: elección de pasos según rutina (A), detección y filtrado de colores (B) y seguimiento de tarjetas (C).

4.3.1 Comunicación

Los elementos para la implementación del diagrama de flujo general son: un ordenador que ejecute ROS2, una tarjeta Arduino, una Tablet con sistema operativo Android y la estructura del robot.

La comunicación entre los dispositivos es bidireccional y se la detalla en los siguientes puntos y en la Figura 65.

- Comunicación entre el robot y ROS es a través de la captura de imagen con la cámara apuntando la matriz de juego.
- ROS se conecta con Arduino a través de nodos publicadores y suscriptores para la detección, filtrado y seguimiento de colores.
- A la tarjeta Arduino le llegan todas las señales de sensores infrarrojos, módulo RFID, servomotores y botones ubicados en el robot.
- La comunicación entre Arduino y la Aplicación Android de la pantalla táctil es a través de Bluetooth.

² Robot Operating System

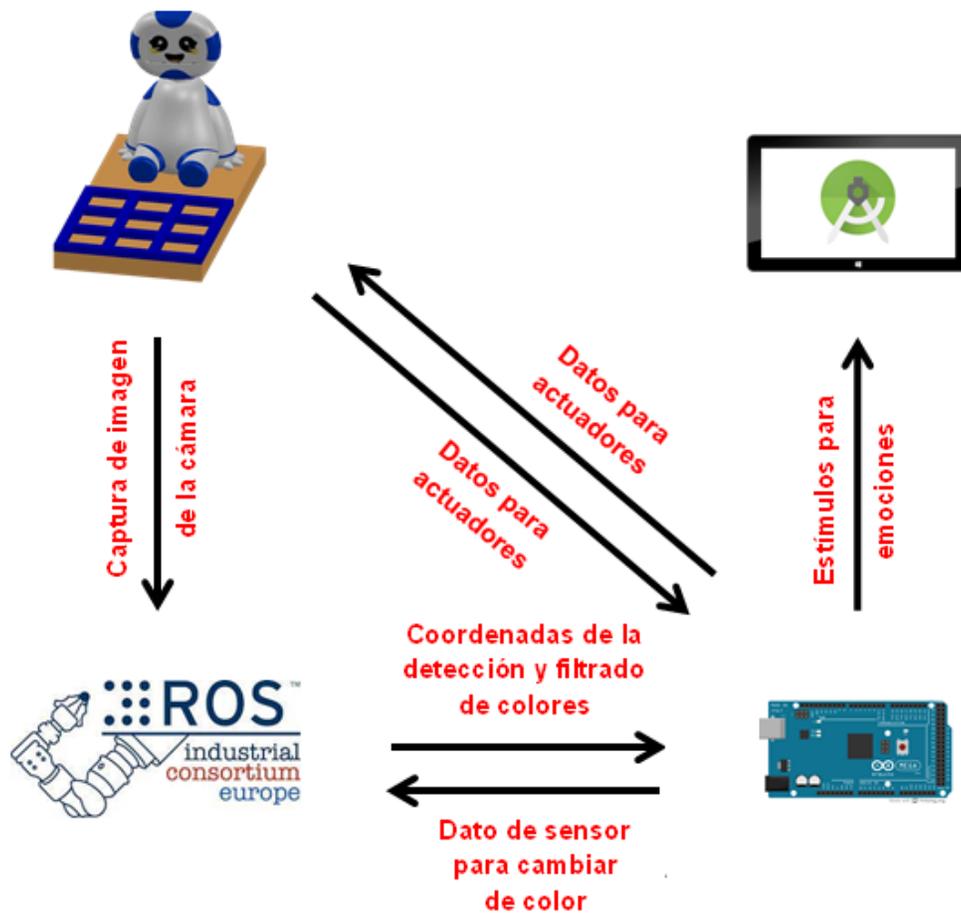


Figura 65. Comunicación entre módulos del robot

4.3.2 Selección de rutina

La selección de la rutina es mediante identificación RFID, para lo cual cada bandeja tiene una etiqueta (sticker) con códigos diferentes, por lo que al colocarla el módulo lo lee y realiza sus acciones dependiendo el procedimiento ya sea orinar, cepillado de dientes o corte de cabello. El procedimiento se detalla mediante diagrama de flujo en la Figura 66.

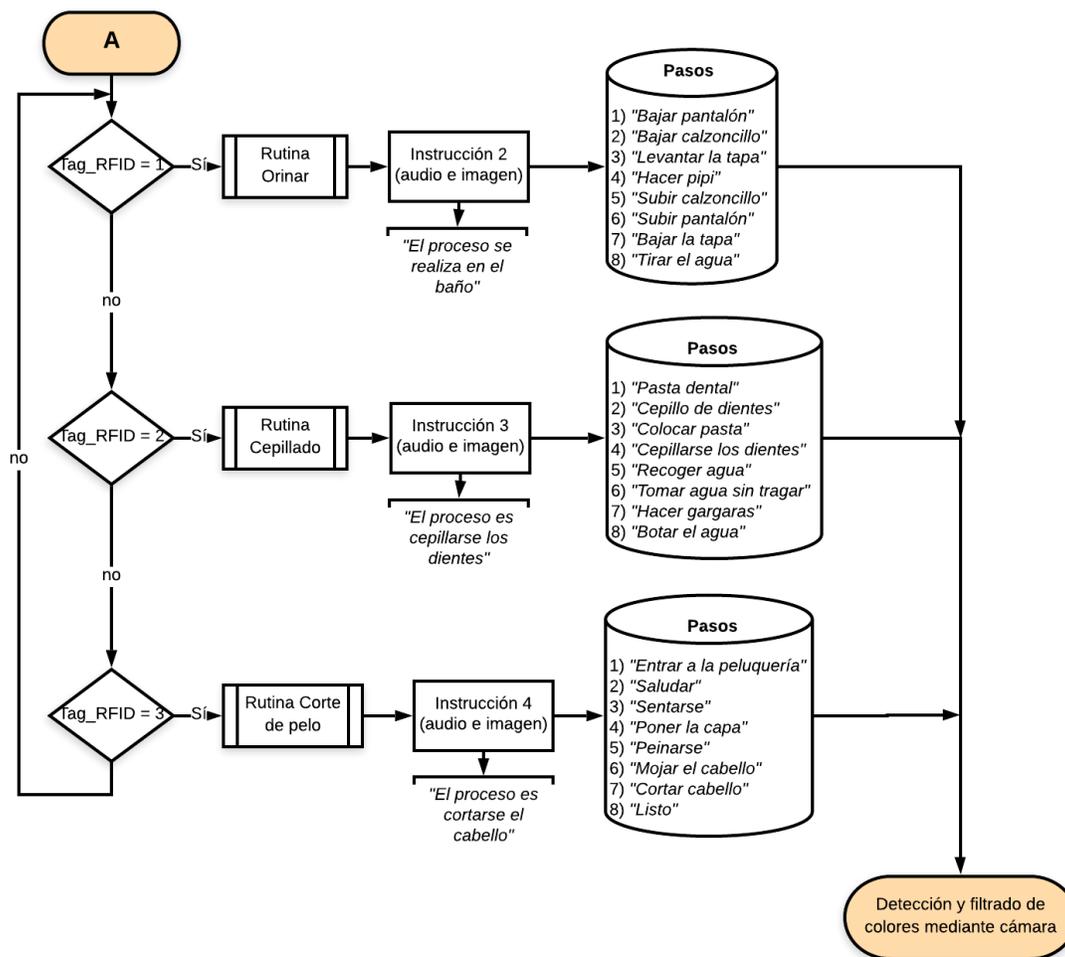


Figura 66. Diagrama de flujo de selección de rutinas
Fuente: (Lucidchart)

4.3.3 Detección de colores

La información de la captura de imagen mediante la cámara, la recoge la computadora con ROS, el cual mediante la librería Open CV y programación en lenguaje Python realice la detección de colores.

Para la diferenciación de colores recibe las señales de los sensores infrarrojos para hacer el filtrado mediante el modelo de color HSV (Matiz, Saturación, Valor), búsqueda de contornos y

cálculo de centroides de los mismos, y finalmente publicar la coordenada horizontal de la tarjeta.

El diagrama del proceso está en la Figura 67.

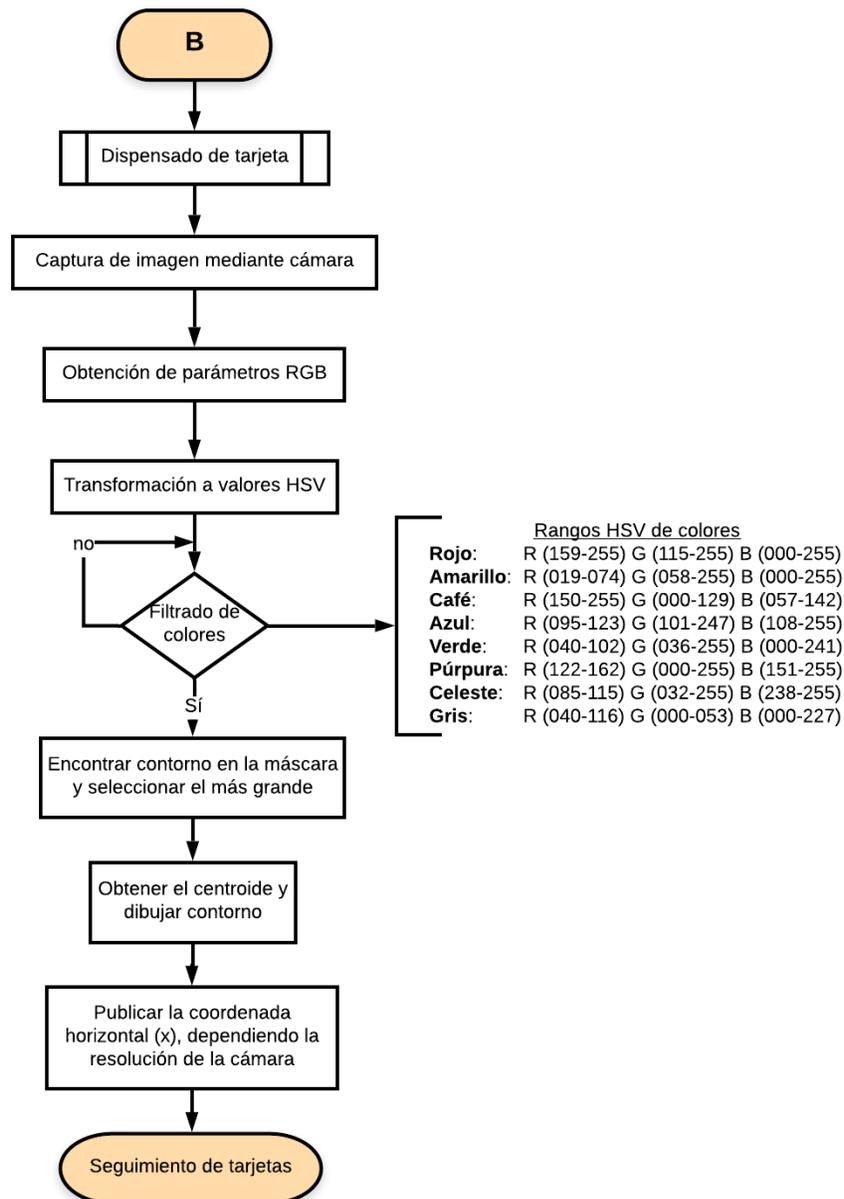


Figura 67. Diagrama de flujo de la detección de colores

Fuente: (Lucidchart)

Un ejemplo de la implementación de la detección de colores y entrega del centroide se lo puede observar en la Figura 68.

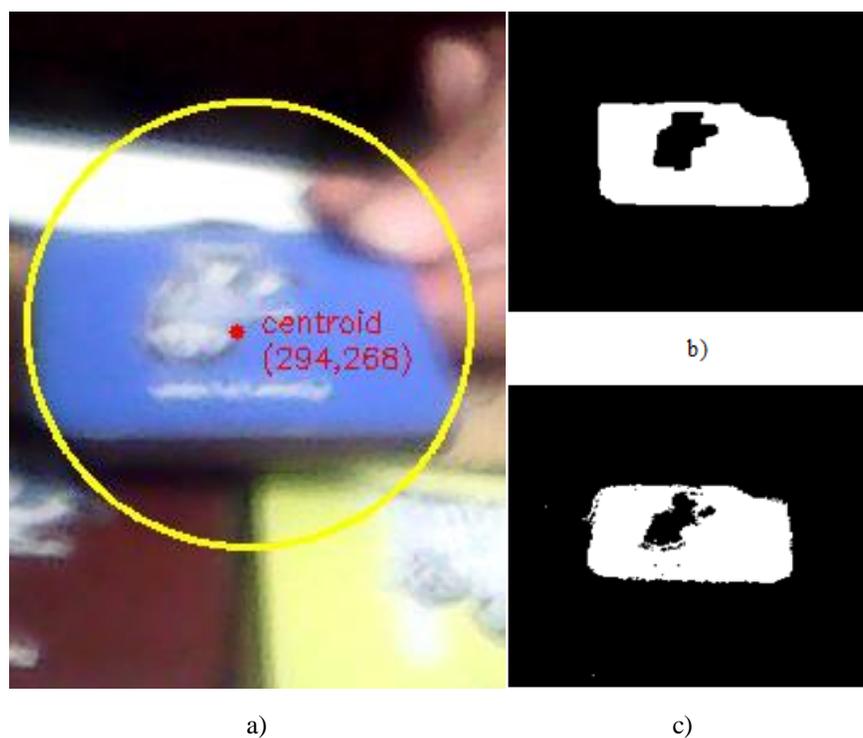


Figura 68. a) Detección de color y ubicación de centroide
b) Máscara y c) Malla en ROS

4.3.4 Seguimiento de tarjetas

El microcontrolador Arduino recoge las coordenadas publicadas por ROS, mediante comunicación serial. Para realizar el seguimiento de tarjetas se efectúa una interpolación desde las coordenadas de la captura a grados (deg) para su programación en el servomotor del cuello. La lógica se indica en la Figura 69.

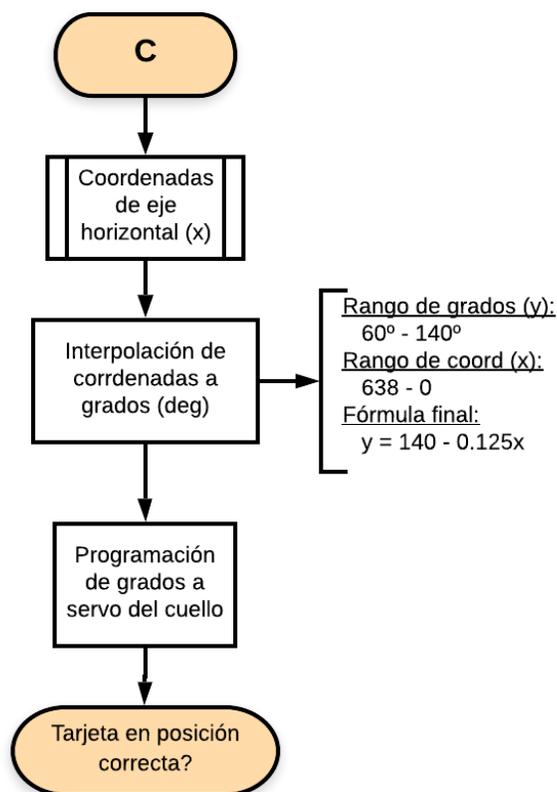


Figura 69. Diagrama de flujo para seguimiento de tarjetas
Fuente: (Lucidchart)

4.3.5 Aplicación móvil

La APP se la realiza mediante el software libre Android Studio y tiene una comunicación a través de Bluetooth con el módulo de Arduino. El microcontrolador envía estímulos dependiendo el estado del proceso para que la aplicación móvil exprese emociones ya sea mediante frases o ilustraciones.

Las expresiones implementadas son de felicidad, asombro y tristeza como se observa en la Figura 70.

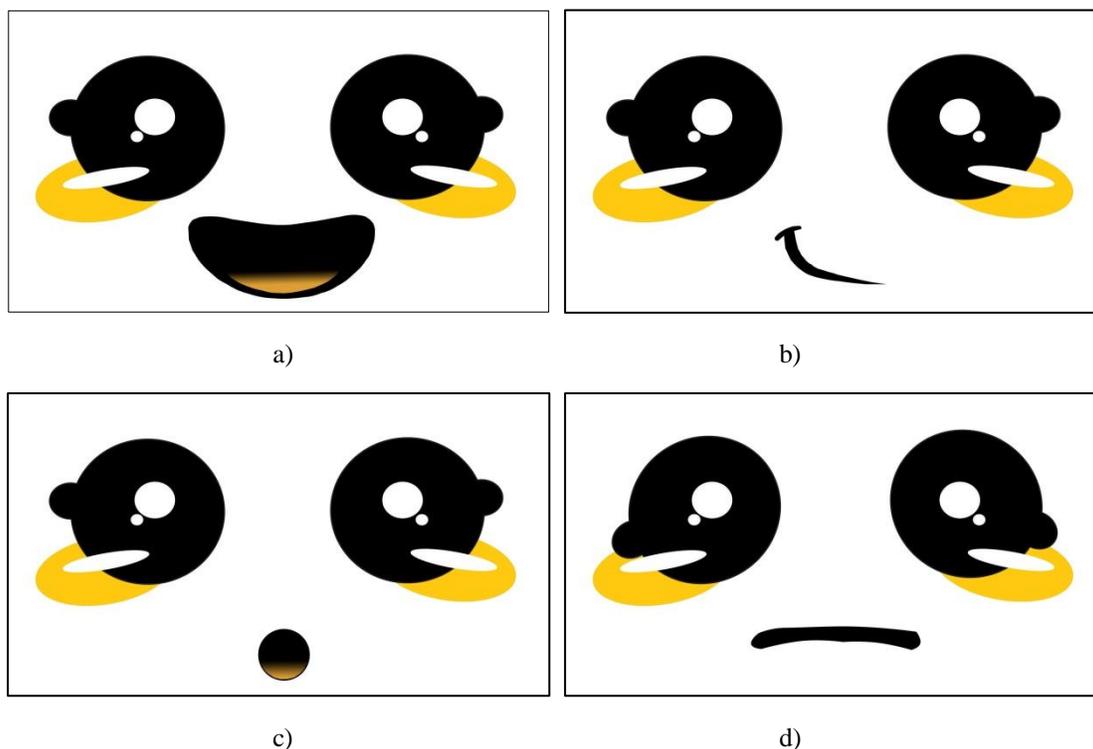


Figura 70. Emociones de a) y b) felicidad c) asombro d) tristeza
Fuente: (Photoshop)

4.3.6 Máquina de estados

El robot se lo puede resumir como un modelo de estados de un sistema con entradas y salidas, en donde su comportamiento no solo depende de la señal de entrada actual sino inclusive de anteriores.

El proyecto posee 7 estados principales para la interacción entre el robot y los niños autistas y cumpla la función de enseñanza de rutinas básicas. La máquina de estados se lo visualiza en la Figura 71.

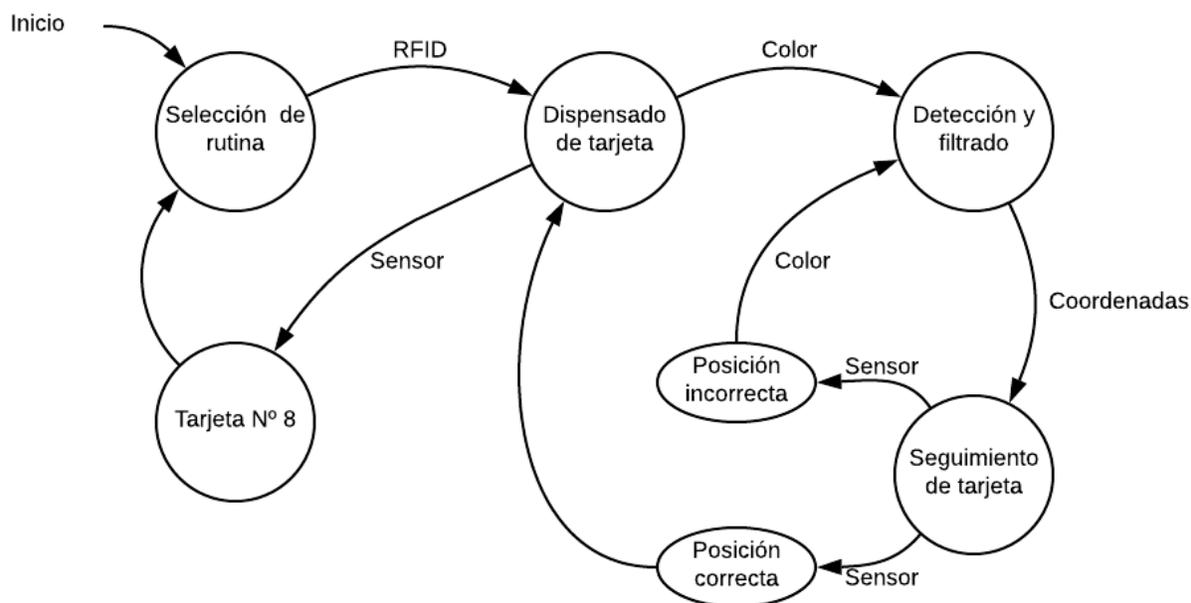


Figura 71. Máquina de estados del robot
Fuente: (Lucidchart)

4.4 Protocolo de pruebas

Para empezar el periodo de pruebas se realiza una demostración a la Mgs. Verónica García, neuropsicología clínica de la Fundación “Hellen Keller” (ver Figura 72), en la que se tiene recomendaciones iniciales de la especialista y se elabora el protocolo de pruebas.



Figura 72. Demostración inicial

4.4.1 Participantes

Los niños con TEA son los principales involucrados en el procedimiento, pero deben ser supervisados por un especialista o el adulto encargado.

Las pruebas se realizan con niños con autismo leve que comprendan la edad de 6 a 10 años pertenecientes a la fundación “Hellen Keller” ubicada en el barrio “Ciudad del Niño”, Quito. Se escoge a 5 niños con los que se evalúa el rendimiento del robot (ver Tabla 52).

Tabla 52

Detalle de participantes

Participante	Edad (años)	Género
Niño 1	7	Masculino
Niño 2	6	Masculino
Niño 3	10	Masculino
Niño 4	8	Masculino
Niño 5	7	Femenino

4.4.2 Procedimiento

Los pasos del proceso de aprendizaje de rutinas mediante pictogramas con el robot “Frankie” son:

- i. El especialista elige la rutina a repasar e inserta la bandeja y las tarjetas correspondientes.
- ii. “Frankie” indica que para iniciar el procedimiento el niño debe aplastar el botón verde.

- iii. Ya iniciado el robot enseña que rutina es la seleccionada y muestra la ilustración del lugar en la que se realiza.
- iv. Con la ayuda del dispensador salen las tarjetas en orden mientras el robot explica el paso que se encuentra en la ficha.
- v. Cuando el niño recoja la tarjeta “Frankie” empieza el seguimiento de la misma mostrando en su pantalla la imagen para mantener la atención del infante en el procedimiento.
- vi. El niño coloca la ficha, si el lugar es erróneo el robot lo alienta a intentarlo de nuevo hasta que se encuentre en la posición correcta donde lo felicita.
- vii. Ya ubicadas las 8 tarjetas, el autómata pregunta si desea continuar con otra rutina para empezar el procedimiento de nuevo.

4.5 Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas se las realizó en varias sesiones con el director del proyecto y cinco con los niños del centro, en las que se corregía las recomendaciones del encargado en cada una de las visitas.

4.5.1 Pruebas piloto

En el experimento piloto se establece las condiciones que debe cumplir el proyecto (ver Figura 73), además estimar el tiempo que dura cada estado del robot (ver Tabla 53).



Figura 73. Prueba piloto

Tabla 53

Tiempo estimado de acción

Procedimiento	Encargado	Tiempo inicial estimado (min)
Puesta en marcha al robot	Especialista	1
Presentación y saludo	Robot	0.5
Ubicación de bandeja y tarjetas	Especialista	1
Dispensado e información de cada ficha	Robot	0.5x8 tarjetas
Colocación de tarjeta de manera correcta	Niño	0.5x8 tarjetas
Pregunta de continuar otra rutina o despedida	Robot	0.5
TOTAL		11

Las principales recomendaciones en esta fase fueron:

- Mejorar vocalización y volumen de las frases.
- Seguimiento más natural.
- Tiempos de respuesta del robot.

4.5.2 Pruebas en el Centro

Las pruebas en el centro constan de 5 visitas en las que se evalúa la interacción y el aprendizaje de los niños con el robot.

En cada sesión se recoge sugerencias para mejorar el rendimiento del robot.

En la Figura 74 se muestra el aprendizaje de las rutinas orinar y cepillado de dientes con el niño 1 durante el primer día de visita.



a)



b)

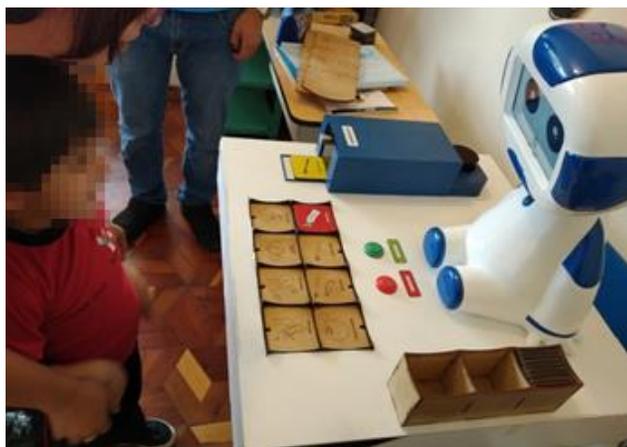
Figura 74. Prueba rutina a) orinar
b) cepillado de dientes con el niño 1

Los consejos de la primera visita fueron:

- Frases con instrucciones concretas, no de mucha duración.
- Quitar elementos distractores en el rostro del robot.

El tiempo promedio que demoraron en los 5 niños en sus rutinas fueron de 13, 10, 8, 6, 9 minutos, respectivamente.

La Figura 75 indica el accionar del niño 2 en la sesión número dos.



a)



b)

Figura 75. Prueba de a) cepillado
b) orinar con el niño 2

Las sugerencias en la segunda sesión fueron:

- Cada audio solo con una instrucción para evitar confusiones en los niños.
- Colocar la imagen en la pantalla ya que es el punto de mayor atención.

En la visita dos el tiempo promedio en los 5 niños fueron de 11, 9, 8, 6, 8 minutos, respectivamente.

En la Figura 76 se observa la prueba de la tercera sesión con el niño 3.



a)



b)

Figura 76. Prueba rutina corte de pelo a) inicio y b) final del proceso con el niño 3

Desde esta sesión no hay recomendaciones, pero se continúa con otras visitas para analizar la adaptación de los niños con robot.

El tiempo promedio que demoraron en los 5 niños en sus rutinas fueron de 9, 8, 7, 6, 8 minutos, respectivamente.

En la Figura 77 se muestra el proceso con el niño 2 durante el cuarto día de visita.



a)



b)

Figura 77. Prueba rutina cepillado a) inicio
b) final con el niño 2 en la sesión 4

En la visita cuatro el tiempo promedio en los 5 niños fueron de 8, 7, 5, 5, 6 minutos, respectivamente.

La Figura 78 indica el accionar del niño 4 en la sesión número cinco.

Además, la finalización de las visitas de prueba, como se observa en la Figura 79.



a)



b)

Figura 78. Prueba rutina orinar a) inicio y b) final con el niño 4



Figura 79. Conclusión de sesiones de pruebas con niño 5 y especialista

El último día de pruebas los tiempos promedio de ejecución de las rutinas fueron 7, 5, 4, 4, 5 minutos respectivamente.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó y construyó un robot que clasifica tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con trastorno del espectro autista (TEA) a través de visión artificial. El robot es parte de un conjunto didáctico elaborado para cumplir con las necesidades especificadas por un especialista, el robot es capaz de guiar al usuario a colocar tarjetas de forma ordenada para mejorar el aprendizaje de rutinas básicas a través del uso de pictogramas y visión artificial para la interacción con el niño.
- El sistema de aprendizaje con pictogramas se enfocó en las tres de las rutinas más útiles en el proceso de enseñanza, es decir, que produce mayor dificultad a los niños con TEA, como son “Ir al baño”, “Cepillarse los dientes” y “Cortarse el cabello”. El uso de ilustraciones facilita recordar los pasos necesarios para realizar cada proceso, lo que es adecuado en pacientes con autismo leve.
- Para orientar a los infantes de manera didáctica, el robot tiene una variedad de frases que guían al niño en la colocación de las tarjetas, incluso si se equivoca tiene la capacidad de animarlo a volver a intentar hasta que lo consiga. El realizar el proceso de forma repetitiva y ordenada ayuda al niño a memorizar los pasos de cada proceso.
- Se enfocó la visión artificial hacia la identificación de cada tarjeta por su color mediante el uso de un filtro HSV para evitar pérdidas de datos con los cambios de luz. Se realizó localización y seguimiento en la imagen para cada tarjeta y se transmitió en forma de

coordenadas hacia el mecanismo del cuello, permitiendo un movimiento en tiempo real del robot mientras guía al usuario la colocación de la ficha en la casilla correcta de la matriz.

- Se construyó un robot de apariencia humanoide cuyo diseño tuvo en cuenta el no caer en el valle inexplicable, se le atribuyó rasgos caricaturescos, con colores en su mayoría blanco y pequeños detalles en color azul, para tener una combinación de bajo contraste, ya que es una recomendación al momento de trabajar con niños con TEA. El robot mide 50.8 cm de alto y 50.7 cm de ancho incluyendo el área de trabajo, y pesa 5.5 kg. Se construyó por impresión 3D, ABS el cuerpo y PLA la cabeza. Y el área de trabajo fabricado en madera MDF por corte láser.
- Se implementó un mecanismo de 3 grados de libertad para el movimiento del cuello del robot mediante servomotores de 11 kgf.cm, el robot hace un seguimiento visual, además de movimientos programados con el fin de aumentar la interacción con el usuario.
- Se diseñó e implementó un sistema biela manivela para expulsar las tarjetas de forma individual y ordenada transformando el movimiento rotacional de un servomotor de 0° a 180° en un movimiento lineal. Este dispensador fue pensado para controlar el orden de las tarjetas en cada proceso.
- Se implementó una aplicación móvil para Android con gestos, audios y emociones e imágenes para guiar al usuario en el proceso, cada elemento de la aplicación es controlado por la placa de desarrollo mediante tecnología bluetooth.
- El diseño es a través de arquitectura modular, que es un sistema abierto que facilita su mantenimiento y reemplazo de elementos sin afectar otros. El robot está compuesto por 8

módulos: estructura del robot y su base, movimiento, software de control, elementos electrónicos y eléctricos, visión artificial, aplicación e identificación de rutina.

- Mediante la retroalimentación del personal calificado de la fundación “Hellen Keller”, se realizaron las mejoras en audios, colores y metodología de interacción. Obteniendo una aceptación contundente por parte de los niños, además con la familiarización de robot se redujo un 36% el tiempo promedio en terminar las rutinas por parte de los infantes.
- Se concluye que el robot FRANKIE es parte de un sistema educativo con funcionalidad de refuerzo, no se evalúa el aprendizaje de los niños, debido a que para esto influyen varios factores a largo plazo, lo que se busca es provocar un efecto positivo en el rendimiento del paciente y observarlo mientras se está dando la interacción con el robot y lo que ocurre después de la misma. Convirtiendo el sistema en una herramienta que ayuda a reforzar conocimientos para el niño, por lo que no se busca reemplazar al educador, si no dar facilidades en el proceso de aprendizaje.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda aumentar el número de rutinas ya que el actual trabajo se concentró en las tres principales con el fin de observar la funcionalidad del robot, y que, al concluir el buen nivel de aceptación del mismo, se pueden incluir fácilmente varios procesos ilustrados por pictogramas, debido a que el sistema se presta para ello.
- Se recomienda aumentar el número de emociones, dependiendo de las situaciones en las que se encuentre el robot y el paciente en el proceso, con el fin de mejorar la interacción.

- Se recomienda implementar una cámara de mayor resolución para mejorar el módulo de visión artificial, con el fin de optimizar el seguimiento del robot.
- Se recomienda utilización del robot de forma constante ya que, si el paciente concreta el proceso de forma repetitiva, el proceso quedará grabado en la memoria del usuario hasta comprender cada paso de la rutina.
- Se recomienda diseñar y construir más proyectos que relacionen la robótica social con tratamientos para pacientes con capacidades especiales.

5.3 Trabajos futuros

- Aumentar grados de libertad para mejorar el nivel de interacción, siempre y cuando no ponga en riesgo la salud del paciente en el momento de arranque del sistema.
- Implementar comunicación con otros robots enfocados en pacientes con TEA para trabajar conjuntamente en el mejoramiento continuo de los pacientes.
- Conectar el robot a internet con el fin de monitorear la interacción del usuario y registrar su proceso en la mejora de rendimiento.
- Utilizar un ordenador de Ubuntu portátil que soporte todo el algoritmo e incorporarlo al sistema para completar la autonomía del robot.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, F. (2014). *Sistema de Interacción Humano-Robot basado en Diálogos Multimodales y Adaptables*.
- Arroyo Staël, A. M. (2014). *Formación de una asociación para personas con trastorno del espectro autista en Ecuador*.
- Bolaños, J. N. (2015). *Agentes Robóticos y Entretenimiento*. Madrid, España: Univeridad Carlos III de Madrid.
- Bonilla, M. F., & Chaskel, R. (2017). *Trastorno del espectro autista*.
- Bustamante, S.-H. Y. (2014). *Algoritmos de procesamiento de imagen aplicados a la detección de figuras geométricas y sus propiedades espaciales*.
- Cabibihan, J.-J. (24 de Noviembre de 2011). *Making robots persuasive: the influence of combining persuasive strategies (gazing and gestures) by a storytelling robot on its persuasive power*. Obtenido de http://home.tm.tue.nl/rcuijper/reports/Bokhorst_Gazings,%20gestures%20and%20Persuasion%20v.1.5.pdf
- Cárdenas, A., Segovia, E., De la Cruz, D., Mejía, P., Paredes, N., & Tobar, J. (2016). *Pictoaprende: Design and evaluation of a tool that contributes to the personal autonomy of children and youth diagnosed with autism spectrum disorder in Ecuador*. *IEEE*.
- CERQANA. (23 de Enero de 2017). *Comunicación, TEA y Pictogramas*. La comunicación visual en los niños con TEA.
- Costa, S., Soares, F., Pereira, A. P., Santos, C., & Hiole, A. (2014). 17. *Building a Game Scenario to Encourage Children with Autism to Recognize and Label Emotions using a Humanoid Robot*.
- Costa, S., Soares, F., Pereira, A., & Moreira, F. (2012). *Constraints in the design of activities focusing on Emotion Recognition for children with ASD using robotic tools*.

- Domínguez, M. (2017). *Sistema de interacción visual para un robot social*.
- Espantoso, V. (2014). *Modelado y simulación del robot PASIBOT*.
- ESPE. (2015). *Pictoaprende*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7360023/?reload=true>
- ESPOCH. (2017). *Willow equipo ganador de Hult Prize ESPOCH* .
- F.J. López, S. V. (20-22 de Septiembre de 2017). *Tema A3b. Mecanismos y Robótica: Diseño y modelado mecanismo esférico. Diseño y modelo dinámico de robot esférico de 3-DOF para cuello robótico de robot humanoide*. Cuernavaca, Morelos, México: Memorias del xxiii congreso internacional anual de la somim.
- FAIRCHILD. (Junio de 2017). *QRD1113 / QRD1114 Datasheet*. Obtenido de <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/QRD1114-D.pdf>
- García, D. (18 de Noviembre de 2013). *Yorokobu*. Obtenido de <http://www.yorokobu.es/robots-sociales-que-ayudan-a-ninos-autistas>
- Giges, N. (Enero de 2014). *A Social Robot* . Obtenido de ASME: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/robotics/social-robot-for-every-household>
- Guzmán, G., & Putrino, N. (2017). *Nuevas tecnologías: Puentes de comunicación en el TEA*.
- Hauser, J. (1988). *House of Quality*. Harvard Business Review, 63-73.
- Herrera, G. (2017). *Guía para padres y educadores*. Pictogram Room.
- iRobot. (2018). Obtenido de <https://store.irobot.com/>
- Koro Irusta, G. (2017). *Aprendizaje en robots sociales*.
- Laboratorio de Criaturas Digitales de SONY. (1999). *Artificial Intelligence Robot - AIBO*.
- Loza Matovelle, D. C. (2013). *Diseño y Construcción de una cabeza mecatrónica de aspecto realista*.

- Mariela Chavarría, A. S. (Abril-Junio de 2010). *La robótica educativa como una innovativa interfaz educativa alumno-problema. La robótica educativa como una innovativa interfaz educativa entre el alumno y una situación-problema*. Cuba: CEDUT - Las Tunas y CEEdEG-Gramma.
- Monge, J. L. (2019). *Mecanismos. Mecanismo sinfín-corona*. Valencia, España: Creative Commons.
- Moreno, L. (03 de Mayo de 2004). *Guías de Diseño. Descripción de los sistemas o modelos de color conocidos y utilizados en el diseño, computación y electrónica: RGB, CMYK, HSV, Pantone*. Obtenido de <https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>
- Mundo. (Marzo de 2011). *El Comercio*. Obtenido de <http://elcomercio.pe/mundo/actualidad/kaspar-robot-que-ayuda-ninos-autistas-noticia-724860>
- Nichols, G. (19 de Enero de 2018). *Zdnet*. Obtenido de 18 robots that will give you the creeps: <https://www.zdnet.com/pictures/9-scary-robots-that-will-creep-you-out/11/>
- Palao, S. *Rutinas para niños con TEA*. ARASAAC.
- Philips Electronics. (2005). *iCat: an animated user-inteface robot with personality*. Obtenido de http://www.cs.huji.ac.il/course/2005/aisemin/articles2006/docs/ded31_143.pdf
- Puebla, R. L. (4-5 de Octubre de 2012). *Simulación de un Mecanismo Biela-Manivela-Corredera*. Villahermosa, Tabasco, México: 11° Congreso Nacional de Mecatrónica, ISBN: 978-607.
- RAMBAL. (2019). *Pack Soportes Bracket Holder para Servos*. Obtenido de <http://rambal.com/hardware/818-pack-soportes-para-servos.html>
- Reynoso, C., Rangel, M. J., & Melgarb, V. (2017). *El trastorno del espectro autista: aspectos etiológicos, diagnósticos y terapéuticos*.
- Rubio Benavides, J. A. (2016). *Diseño y construcción de un robot interactivo para el tratamiento de personas con el trastorno del espectro autista (TEA)*.

Serrano Jiménez, M. C., & Guch Alemán, E. R. (2013). *Manual de Robótica Educativa en el Aula*.

Starmedia. (2017). *Horoscopo*. Recuperado el Abril de 2018, de <http://horoscopo.starmedia.com/mujer/autismo-no-enfermedad-sino-condicion/>

Tobar, J. (2015). *Pictoaprende: Application that contributes to the personal autonomy of children and youth with autism spectrum disorder in Ecuador*. *IEEE*, 3-4.

Toro Valderas, A. J. (19 de Junio de 2017). *Control y registro de accesos mediante sistemas RFID*. Obtenido de <http://proyectos.uca.es/c3ir/pdf/rfid>

Vallejo, D. (Enero de 2017). Obtenido de <https://plus.google.com/114189338883410608613>

VDI-Richtlinien. (Junio de 2004). *VDI 2206. Design methodology for mechatronic systems*.