



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCIAL
PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA ORIENTADO A LA
EDUCACIÓN DE NIÑOS/AS DE 2 - 5 AÑOS**

**AUTORES: ESPINOZA ERAZO, NATHALY ANDREA
ALMEIDA GALLARDO, RICARDO PATRICIO**

DIRECTOR: ING. LOZA MATOVELLE, DAVID CÉSAR MSc.

SANGOLQUI

2018



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCIAL PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA ORIENTADO A LA EDUCACIÓN DE NIÑOS/AS DE 2 – 5 AÑOS**" fue realizado por el señor **Almeida Gallardo, Ricardo Patricio** y la señorita **Espinoza Erazo, Nathaly Andrea**, 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, 31 de agosto de 2018

Firma:

Ing. Loza Matovelle, David César MSc

C.C.: 1708661549



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Almeida Gallardo, Ricardo Patricio y Espinoza Erazo, Nathaly Andrea*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2 – 5 años”*, es de nuestra 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, 31 de agosto de 2018

Firman:

Espinoza Erazo

Nathaly Andrea

C.C.: 1723152490

Almeida Gallardo

Ricardo Patricio

C.C.: 1717410599



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Almeida Gallardo, Ricardo Patricio y Espinoza Erazo, Nathaly Andrea, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación "Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2 – 5 años", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 31 de agosto de 2018

Firman:

.....
Espinoza Erazo
Nathaly Andrea
CC. 1723152490

.....
Almeida Gallardo
Ricardo Patricio
CC. 1717410599

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres

Ricardo Patricio Almeida Gallardo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres y hermana, también se lo dedico a mi novio Ricardo, porque con nuestros esfuerzos logramos completar con éxito el proyecto. También se lo dedico a todas mis amigos y amigas que de manera indirecta o directa ayudaron a que termine esta etapa importante de mi vida.

Nathaly Andrea Espinoza Erazo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza, la persistencia y la voluntad para culminar mi carrera, por ser esa luz en los momentos más difíciles, y jamás sentirme sola gracias a él. También le agradezco por haber puesto en mi camino personas tan maravillosas durante esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi padre por ser quien me educo y gracias a él me convertí en la persona que soy hoy en día, por apoyarme y sus deseos que me supere como persona y profesional. Por confiar en mi y tratar de entender todos los momentos que viví durante mis estudios.

Agradezco a mi hermana por ser esa persona que siempre está a mi lado, por ser mi compañera, mi mejor amiga, darme su apoyo y su amor incondicional. Acompañándome en los momentos más duros, escuchando y sobre todo tener la paciencia de soportarme en mis peores momentos.

Agradezco a mi madre y hermano por ser parte de este triunfo, darme su apoyo incondicional y preocuparse siempre por mi bienestar.

Agradezco a mi novio por ser parte de mi vida, y porque cumplimos nuestro sueño de graduarnos juntos. Ha sido un gran apoyo en mis estudios, es una dicha compartir este momento tan importante de mi vida con él, todas las develadas y el gran esfuerzo que hemos puesto juntos, ha rendido su fruto.

Agradezco a mis amigos y amigas que me han ayudado y han estado para mí, las vivencias que compartí junto a ellos las tendré guardadas en mi mente y corazón, agradeciendo siempre haberlos conocido.

Nathaly Andrea Espinoza Erazo

AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha guiado en cada etapa de mi vida y me ha dado las fuerzas y el coraje necesario para cumplir con cada meta y objetivo propuesto.

A mis padres Isabel y Raúl que han sido un apoyo en todos los sentidos durante toda mi vida, siempre pendientes de mi bienestar.

A mi hermano Andrés, que a pesar de la distancia siempre supo ser una guía y referente de persona y amigo.

A mi pareja Nathaly, porque junto a ella empecé con la carrera, y de igual manera la finalizo con el mejor de los ánimos, que a pesar de todos los tropiezos que se han dado, hemos sabido salir adelante siempre.

A mis amigos con quienes compartí aulas, laboratorios, amanecidas, felicidades y tristezas, pero siempre estuvieron para apoyar al caído.

Ricardo Patricio Almeida Gallardo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO 1	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Robots sociales	1
1.1.2. CODY	3
1.2. Justificación e Importancia.....	4
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7

1.4.	Descripción general del proyecto	7
1.5.	Estructura del documento	9
CAPÍTULO 2.....		11
2.	ESTADO DEL ARTE	11
2.1.	Evolución de la robótica	11
2.2.	Robots Sociales.....	13
2.3.	Tipos de robots sociales.....	14
2.3.1.	Robots de asistencia social	14
2.3.2.	Nursebot Pearl	14
2.3.3.	iCat.....	15
2.3.4.	Care-O-bot	16
2.3.5.	Robots de compañía.....	17
2.3.6.	PARO.....	17
2.3.7.	Huggable.....	18
2.3.8.	AIBO	20
2.4.	Interacción humana – máquina.....	20
2.4.1.	Historia	20
2.4.2.	Características de un robot social	24
2.4.3.	Empatía y emociones sociales	28
2.4.4.	Sistema háptico.....	29
2.5.	Tecnología en la educación	30
2.5.1.	Robots educativos.....	30

	x
2.5.2. Inteligencia artificial en robots sociales	34
2.6. Visión Artificial en robots sociales.....	35
2.6.1. Visión Activa	35
2.6.2. Detección de rostros HOG y SVM lineal	36
2.7. Text to Speech	36
CAPÍTULO 3.....	39
3. DISEÑO	39
3.1. Establecimiento de requerimientos.....	39
3.1.1. Identificación de necesidades	39
3.1.2. Listado de métricas	40
3.1.3. Matriz QFD.....	41
3.2. Definición de especificaciones	42
3.3. Definición de arquitectura	42
3.4. Desarrollo de conceptos.....	43
3.4.1. Modulo Interacción.....	43
3.4.2. Submódulo Pantalla	43
3.4.3. Submódulo Máquina de estados	45
3.5. Módulo Visión Artificial	45
3.5.1. Submódulo Detección de Rostros.....	45
3.6. Módulo Movimiento.....	46
3.6.1. Submódulo Mecanismo Cuello	46
3.6.2. Submódulo Mecanismo Pies	48

	xi
3.6.3. Submódulo Mecanismo Cejas	49
3.7. Módulo Control	50
3.7.1. Submódulo Mando	50
3.7.2. Submódulo Teclado.....	51
3.7.3. Submódulo Tarjeta Controladora	51
3.8. Módulo Estructura	52
3.8.1. Submódulo Material	52
3.9. Selección de conceptos	52
3.9.1. Módulo interacción.....	52
3.9.2. Módulo Visión Artificial	57
3.9.3. Módulo Movimiento.....	58
3.9.4. Submódulo Mecanismo Cuello	59
3.9.5. Submódulo Mecanismo Pies	60
3.9.6. Submódulo Mecanismo Cejas	61
3.9.7. Módulo Control	61
3.9.8. Submódulo Mando	62
3.9.9. Submódulo Tarjeta Controladora	63
3.9.1. Módulo Estructura	64
3.10. Concepto final.....	66
3.11. Diseño y análisis general	67
3.11.1. Diseño mecánico.....	67
3.11.2. Análisis Esfuerzos principales	72

	xii
3.11.3. Diseño electrónico.....	83
3.11.4. Prototipo simulado	85
CAPÍTULO 4.....	87
4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	87
4.1. Construcción.....	87
4.1.1. Construcción mecánica.....	87
4.1.2. Construcción electrónica	91
4.1.3. Ensamble piezas	95
4.1.4. Software y Programación	96
4.1.5. Arquitectura ROS	111
4.2. Protocolo de pruebas	115
4.2.1. Meta	115
4.2.2. Método.....	116
4.2.3. Ambiente	116
4.2.4. Participantes.....	116
4.2.5. Procedimiento.....	117
4.2.6. Prueba Piloto.....	117
4.2.7. Experimentación.....	117
4.2.8. Participantes.....	118
4.2.9. Resultados.....	119
4.2.10. Análisis de resultados	122
CAPÍTULO 5.....	124

	xiii
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
5.1. Conclusiones.....	124
5.2. Recomendaciones	126
5.3. Trabajos Futuros	126
BIBLIOGRAFÍA	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de necesidades.....	39
Tabla 2. Necesidades, métricas e importancia.....	40
Tabla 3. Matriz QFD	41
Tabla 4. Arquitectura Modular de NAR.....	42
Tabla 5. Ponderación de criterios Sub-Módulo Pantalla	53
Tabla 6 Ponderación opciones con cada criterio	53
Tabla 7 Selección de concepto	53
Tabla 8 Ponderación de criterios Sub-Módulo Text-to-speech.....	54
Tabla 9 Ponderación opciones con cada criterio	54
Tabla 10 Selección de concepto	55
Tabla 11 Ponderación de criterios Sub-Módulo Sistema háptico	55
Tabla 12 Ponderación opciones con cada criterio	55
Tabla 13 Selección de concepto Sub-Módulo Sistema háptico.....	56
Tabla 14 Ponderación de criterios Sub-Módulo Máquina de estados	56
Tabla 15 Ponderación opciones con cada criterio	56
Tabla 16 Selección de concepto	57
Tabla 17 Ponderación de criterios sub -Módulo detección de rostro	57
Tabla 18 Ponderación opciones con cada criterio	58
Tabla 19 Selección de concepto	58
Tabla 20 Ponderación de criterios Módulo movimiento	59
Tabla 21 Ponderación opciones mecanismo cuello con cada criterio	59

Tabla 22 Selección de concepto	60
Tabla 23 Ponderación opciones mecanismo pie con criterio cada criterio	60
Tabla 24 Selección de concepto	60
Tabla 25 Ponderación opciones mecanismo cejas con criterio costo reducido.....	61
Tabla 26 Selección de concepto	61
Tabla 27 Ponderación de criterios Módulo movimiento	62
Tabla 28 Ponderación opciones de mando con criterio costo reducido	62
Tabla 29 Selección de concepto	63
Tabla 30 Ponderación opciones de teclado con criterio costo reducido.....	63
Tabla 31 Selección de concepto	63
Tabla 32 Ponderación opciones de tarjeta controladora con cada criterio	64
Tabla 33 Selección de concepto	64
Tabla 34 Ponderación opciones de tarjeta controladora con criterio costo reducido	65
Tabla 35 Ponderación opciones con cada criterio	65
Tabla 36 Selección de concepto	65
Tabla 37 Concepto final para el diseño	66
Tabla 38 Parámetros de Denavit-Hartenberg	68
Tabla 39 Listado de partes NAR	86
Tabla 40 Hoja de procesos bastidor robot	90
Tabla 41 Resultados Pre – Test	120
Tabla 42 Resultados experimentos.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Robot Social Maggie	2
Figura 2. Robot Nao.....	2
Figura 3: Robots Sociales	3
Figura 4. NAR. a) Renderizado b) Partes.....	8
Figura 5. Evolución de los robots	12
Figura 6. ROBTET.....	13
Figura 7. Nursebot Pearl	15
Figura 8. iCat.....	16
Figura 9. Care-O-bot. a) 2da generación, b) 3ra generación, c) 4ta generación	17
Figura 10. PARO robot	18
Figura 11. Huggable.....	19
Figura 12. Aibo Robot, a) AIBO, b) AIBO interactuando.....	20
Figura 13. Línea de tiempo Interacción humano-máquina	21
Figura 14. Douglas Engelbart con su invento.	21
Figura 15. Reconocimiento de gestos en “Smart Room”.....	22
Figura 16. Detección de cara por medio de puntos.	22
Figura 17. Representación de estados de ánimo	23
Figura 18. Kinect.....	23
Figura 19. Robot Karotz.....	24
Figura 20. Valle Inquietante.....	25
Figura 21. Modelo de Rasmussen.	27

Figura 22. Sophia. Intel Developer Forum, Shenzhen 2016	28
Figura 23. Robot para que un niño aprenda enseñando	32
Figura 24. Niño enseñando a robot Nao.....	32
Figura 25. Estudio niños aprenden enseñando a escribir a un robot	33
Figura 26. Puntos perfil facial Dlib.....	36
Figura 27. Módulos del sistema TTS de AT&T.....	38
Figura 28. Mecanismo cuello de 5 GDL de animatronics.	46
Figura 29. Mecanismo cuello InMoov	47
Figura 30. Mecanismo cuello 3 DOF.....	47
Figura 31. Mecanismo pie acople con engranes	48
Figura 32. Mecanismo pie acople directo	49
Figura 33. Mecanismo cejas - Generador de expresiones faciales.....	49
Figura 34. Mecanismo cejas acople directo	50
Figura 35. Diagrama juntas y ejes Robot	68
Figura 36. Torque en función de q	72
Figura 37. Reporte de resultados – Materiales – Base Robot	72
Figura 38. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Base Robot.....	73
Figura 39. Simulación Esfuerzo Von Mises – Base Robot.....	73
Figura 40. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Base Robot – Micro servos.....	74
Figura 41. Simulación Esfuerzo Von Mises – Base Robot – Micro servos.....	74
Figura 42. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cabeza.....	75
Figura 43. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación - Soporte Cabeza.....	75

Figura 44. Simulación Esfuerzo Von Mises – Soporte Cabeza	76
Figura 45. Curva de convergencia – Soporte Cabeza	76
Figura 46. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cara.....	77
Figura 47. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Soporte Cara	77
Figura 48. Simulación Esfuerzos Von Mises – Soporte Cara.....	78
Figura 49. Curva de convergencia – Soporte Cara	78
Figura 50. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cejas.....	79
Figura 51. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Soporte Cejas	79
Figura 52. Simulación Esfuerzos Von Mises – Soporte Cejas.....	80
Figura 53. Curva de convergencia – Soporte Cejas	80
Figura 54. Reporte de resultados – Materiales – Carcasa Frontal.....	81
Figura 55. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Carcasa Frontal	81
Figura 56. Simulación Esfuerzos Von Mises – Carcasa Frontal.....	82
Figura 57 . Curva de convergencia – Carcasa Frontal	82
Figura 58. Acondicionamiento sensor piezoeléctrico	84
Figura 59. Diseño placa Proteus.....	84
Figura 60. Vista 3D placa diseñada.....	85
Figura 61. Prototipo NAR - Simulado	85
Figura 62. Prototipo NAR	86
Figura 63. Impresión Carcasa Cabeza Frontal	87
Figura 64. Partes Impresas	88
Figura 65. Carcasas Frontales	88

	xix
Figura 66. Impresión Carcasa Pantalla Nextion 7”	89
Figura 67. Impresión Soporte Cabeza.....	89
Figura 68. Corte Laser Base NAR	91
Figura 69. Pasos ensamble sensores y LED´s	91
Figura 70. Colocación sensores y led's en esqueleto de mano	92
Figura 71. Colocación mano flexible en esqueleto y brazo	92
Figura 72. Pasos elaboración placa circuito sensores y led´s.....	93
Figura 73. Baquelita y circuito impreso en papel termotransferible	93
Figura 74. Placa en ácido	94
Figura 75. Placa terminada.....	94
Figura 76. Pasos Ensamble Base.....	95
Figura 77. Pasos Ensamble Cabeza.....	95
Figura 78. Ensamble Esqueleto.....	96
Figura 79. Diagrama de comunicación NAR	97
Figura 80. Diagrama de flujo detección de colores.....	98
Figura 81. Diagrama de flujo detección y seguimiento de rostros.....	100
Figura 82. Diagrama de flujo – Juegos Números.....	102
Figura 83. Diagrama de flujo – Juego Colores 1.....	104
Figura 84. Diagrama de flujo – Juego Colores 2.....	105
Figura 85. Diagrama de flujo emociones	106
Figura 86. Ventana principal HMI	107
Figura 87. Diagrama flujo HMI	107

	xx
Figura 88. Ventana operador HMI	108
Figura 89. Diagrama de flujo ventana operador.....	108
Figura 90. Ventana usuario HMI	109
Figura 91. Diagrama de flujo ventana usuario	110
Figura 92. Diagrama de estados	110
Figura 93. Diagrama de nodos ROS	115
Figura 94. Diagrama de flujo experimento	118
Figura 95. Resultados aciertos y fallas.....	122

RESUMEN

La evolución de la robótica ha llevado a la implementación de robots en la educación, salud, limpieza, seguridad etc. En la robótica social es muy importante la interacción en la que intervienen algunas características como son la interacción bidireccional y el antropomorfismo. La robótica social aplicada en la educación es un tema con mucha investigación por realizar, sobre todo en el Ecuador donde existe poca implementación de herramientas tecnológicas, por estas razones se realiza la segunda versión del proyecto de titulación del robot social CODY, con el nuevo nombre NAR el cual es un robot social orientado a la educación como una herramienta de refuerzo. El diseño se basó en la norma VDI 2206, obteniendo como concepto final un robot de 7 grados de libertad, 3 en su cabeza, 1 en cada ceja y 1 en cada pie, de color blanco hecho de PLA Pro. Expresa felicidad, tristeza, enojo, sorpresa y duda a través del movimiento de su cabeza, cejas, colores en sus manos y sonidos, es capaz de detectar y seguir rostros, detectar los colores primarios, también tiene un TTS y chatbot. Incluye un módulo de enseñanza con temáticas de los números y colores para niños de 2 y 3 años y niños/as de 4 y 5 años. Para realizar las pruebas se establece un protocolo de pruebas en las que se definen condiciones del entorno y se establece un procedimiento que consiste en un pre-test, la observación de un video educativo y para finalizar el juego.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBOT SOCIAL**
- **INTERACCIÓN**
- **EDUCACIÓN**

ABSTRACT

The evolution of robotics has led to the implementation of robots in education, health, cleaning, security, others. In social robotics, interaction is very important, in which some characteristics intervene, such as bidirectional interaction and anthropomorphism. Social robotics applied in education is a subject with much research to be done, especially in Ecuador where there is a few implementation of technological tools, for these reasons the second version of the social robot CODY is carried out, with the new name NAR which is a social robot oriented to education as a reinforcement tool. The design was based on the VDI 2206 standard, obtaining as a final concept a robot with 7 degrees of freedom, 3 on its head, 1 on each eyebrow and 1 on each foot, white color made of PLA Pro. Express happiness, sadness, anger, surprise and doubt through the movement of his head, eyebrows, colors in his hands and sounds, is able to detect and follow faces, detect primary colors, also has a TTS and chatbot. It includes a teaching module with themes of numbers and colors for children of 2 and 3 years old and children of 4 and 5 years old. In order to carry out the tests, a test protocol is established in which environmental conditions are defined and a procedure consisting of a pre-test, the observation of an educational video and the end of the game is established.

KEYWORDS:

- **SOCIAL ROBOT**
- **INTERACTION**
- **EDUCATION**

CAPÍTULO 1

El capítulo recopila los antecedentes, objetivos, justificación e importancia sobre la construcción de un robot social para la interacción humano – máquina. Dicho robot está orientado a la educación para niños y niñas de 2 a 5 años. También, en el capítulo se da una breve reseña de los robots sociales y los objetivos planteados para el proyecto y su desarrollo en los siguientes capítulos.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Robots sociales

La interacción de tipo social, humano-máquina, juega un papel fundamental en el desarrollo tecnológico, (García, 2005). Los robots serán capaces de realizar muchas tareas en la sociedad. Dentro del hogar, prestar atención médica, asistencia a personas con discapacidades, entretenimiento, educación, entre otras. En el campo de la robótica social, existe mucho por explorar, mejorar y buscar que su aplicación sea para alguna rama cuyo interés fundamental es el ser humano, (Savage, Marquéz, & Lepe, 2005).

La tendencia del campo son los androides y robots zoomórficos; uno de los primeros es Maggie de la Figura 1 que es un robot capaz de reconocer voz, caras y sentir cuando le tocan, (Salichs & Ramón, 2003).



Figura 1. Robot Social Maggie
Fuente: (UC3M, 2016)

Otro robot que se puede encontrar es Nao, (*Figura 2*), de la empresa Softbank Robotics. El cual ha tenido varios cambios con seis prototipos hasta su última versión del 2014, en la cual se consiguió que sea capaz de hablar y relacionarse con las personas, jugar fútbol, ser profesor, etc. (Robotrónica, 2015).

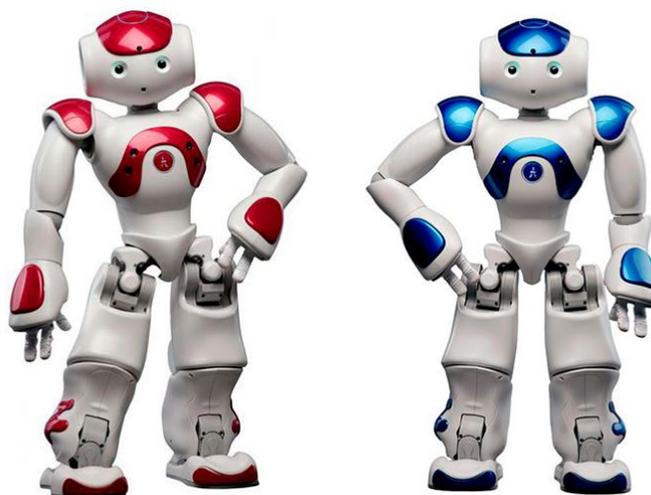


Figura 2. Robot Nao
Fuente: (Robotrónica, 2015)

Existen más tipos de robots entre los cuales la robótica social incorpora robots humanoides y zoomórficos tales como: HOAP en el que se puede ver más características, en (Fujitsu); ASIMO (Honda, 2011); QRIO (Meerbeek, ERCIM); Leonardo Bot (MIT, 2015); iCat (Graham, 2007), etc, que se pueden observar en la Figura 3. Estos robots son capaces de interactuar con seres humanos, expresar emociones y jugar, además muchos de ellos presentan cierto grado de inteligencia artificial.

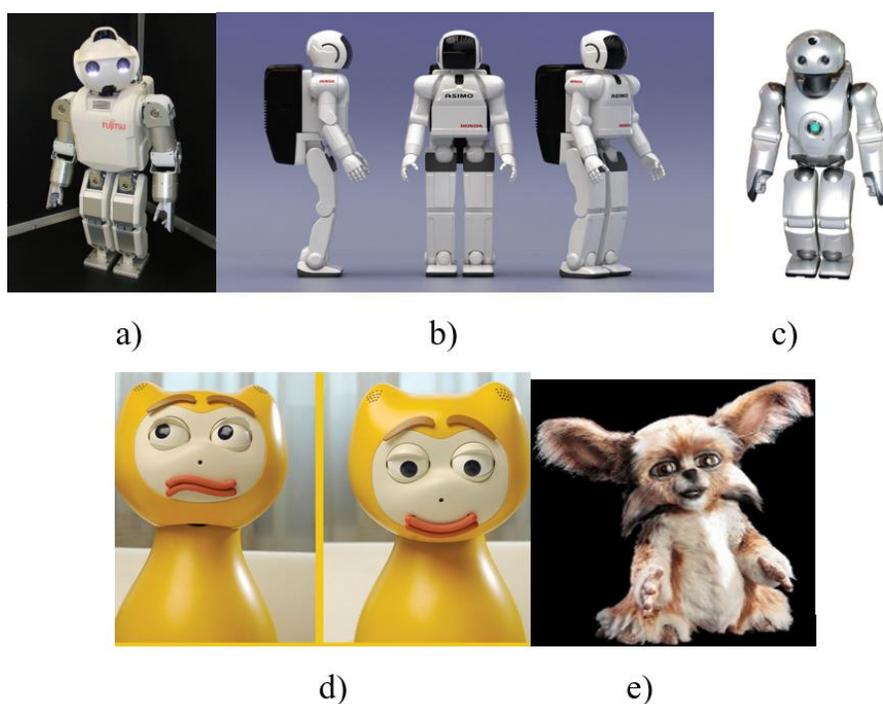


Figura 3: Robots Sociales

a) HOAP b) Asimo c) QRIO d) iCat e) Leonardo bot

Fuentes: (Fujitsu) (Honda, 2011) (Meerbeek, ERCIM) (Lab, 2012) (Sony, 2012)

1.1.2. CODY

En base al trabajo de titulación de las Ingenieras Silvia Michelle Mejía Silva y Jennifer Alexandra Núñez Arroba, titulado: “Diseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina”, aprobada en el 2016. El resultado fue un robot en forma de oso panda, con un

peso de 4 Kg, llamado CODY.

CODY fue creado para lograr una interacción humano máquina amigable. En el que se busca una mejora, tanto en el aspecto físico, como en los gestos del mismo, con el fin de obtener una mayor aceptación por parte del usuario. Su rediseño no es sólo en el aspecto físico, sino también, que tenga una aplicación específica, orientada a la educación.

CODY es capaz de reconocer rostros, expresar emociones como: enojo, sorpresa, neutral, alegría, tristeza y duda. Cuenta con una cámara en su nariz que ayuda al reconocimiento facial; y que el robot aparente seguir con la mirada a la persona con la que está interactuando. El robot puede ser tele operado a través de un Joystick para que realice un movimiento deseado, una HMI para abrir o cerrar la cámara y también para que se visualice el texto que se escribe por teclado, (Mejía & Núñez, 2016).

Sus mecanismos funcionan adecuadamente, sin embargo, el material y la estructura son demasiado pesados; además el aspecto del oso tiene mucho por mejorar debido a que uno de sus ojos no cierra adecuadamente. La proporción de las facciones de su cara no es la indicada, y la proporción de su cabeza con respecto al cuerpo hacen que no se vea tan agradable. La cámara está mal situada y debería estar en un lugar en el que no interfiera con la estética del robot.

Después del análisis de CODY, podemos encontrar las mejoras que se desean implementar para obtener un robot más amigable con el usuario.

1.2. Justificación e Importancia

En el país, la implementación de robots en el ámbito educativo es casi nula. A partir de 2008 se consideró a la educación como área prioritaria. En los análisis realizados se encontró problemas

como escasos de laboratorios en las escuelas y centros de educación sin acceso a Internet, etc. Según un estudio realizado en el 2010 por el Ministerio de Educación, se tomó la iniciativa de implementar el proyecto: “Sistema Integral de Tecnologías para la Escuela y Comunidad”. (Dirección Nacional de Tecnologías de la Información y Educación, 2015). Que plantea la implementación de TIC’S¹ y el internet como herramienta educativa. Sin embargo, es evidente la carencia de herramientas tecnológicas por implementar, debido a que el desarrollo tecnológico actual, a nivel mundial, es muy avanzado en comparación al que se puede encontrar en el país.

Las tendencias actuales, tanto a nivel industrial como doméstico, apuntan a la automatización de procesos. (Vargas, 2005); Por lo que el ser humano va teniendo la necesidad de implementar robots en la mayoría de los campos de aplicaciones tecnológicas y de procesos; existiendo así una constante interacción entre seres humanos y robots, obligándolos a ser fáciles de manejar y entender.

“El hombre es un ser social por naturaleza”, Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.). Esta es una característica propia de los mamíferos y por ello la comunicación juega un papel fundamental en la cultura y desarrollo del ser humano. Por lo tanto, la interacción humano-máquina, en la robótica social juega un papel importante.

En la actualidad, la robótica social o de servicio ha avanzado con robots que pueden comunicarse con personas, seguir comportamientos y normas sociales, mediante una inmersión en la inteligencia social (Andrés, 2002). Siendo el último ejemplo de esto, el robot “Shimon”. (Bretnan

¹ TIC (Tecnologías de la información y comunicación). Las TIC son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos (texto, imagen, sonido, etc).

& Weinber, 2016). Un robot de 4 brazos que puede escribir y tocar su propia música en marimba, basándose en 5000 piezas musicales, inteligencia artificial, y redes neuronales para crear su música. (Andrés, 2002).

Existen diferentes tipos de robots de servicio, como son: de aprendizaje, seguridad, construcción, limpieza, etc; teniendo como resultado una mejora en la eficiencia en las tareas realizadas por los robots en comparación a los seres humanos. En la robótica educativa se asegura que se fomenta el interés de los niños y niñas al tema por aprender, mejorando su aprendizaje, imaginación y creatividad. (Saerbeck, Schut, Bartneck, & Janse, 2010)

Por ello, mejorar la interfaz e interacción en la tecnología para el beneficio humano es un gran paso. La mente humana no reacciona emocionalmente a objetos artificiales; por lo que dotar a estos de expresiones que emulen emociones, usen herramientas verbales y no verbales (expresiones faciales y corporales), se pueda interpretar un mensaje durante la interacción. Para que cumplan con el objetivo con el que fueron creados, brindando un servicio en los diferentes ámbitos en que se desarrolla el ser humano. (Pavón, 2013)

Por estas razones, se desea realizar mejoras físicas e interactivas, en el proyecto de titulación: Robot Social Cody, con el nuevo nombre NAR, y que éste sea capaz de expresar emociones a través de expresiones faciales, movimientos, sonidos y colores; comunicarse de manera verbal y ser controlado de manera remota por medio de un Joystick para sus movimientos, un teclado para programar lo que desea que diga el robot y una HMI de control en una PC.

Además, es necesaria la implementación de una pantalla de interacción ubicada en frente del robot, para enseñar de manera gráfica números y colores a través de juegos. Y el uso de la

percepción háptica de objetos, (Sistema de percepción, a través del tacto activo, el cual da sensación de presencia al individuo), ya que al trabajar con niños/as, el tacto se usa como herramienta, para captar el interés y aumentar las aplicaciones para mejorar el aprendizaje del niño/a.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Rediseñar y construir un robot social para la interacción hombre – máquina orientado a la educación de niños/as de 2 - 5 años.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar la estructura interna y externa para que el robot sea liviano y no caiga en el Valle Inquietante.
- Diseñar los sistemas electrónicos que permitan controlar el robot a través del uso de Software libre.
- Implementar un sistema de interacción e interfaz de tele-operación.
- Implementar inteligencia artificial básica para la interacción con los niños/as en los juegos empleados, etc.

1.4. Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en el rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre – máquina, basado en el robot social llamado “CODY”, mejorando su apariencia y dándole un aspecto humanoide, llamado NAR. Se propone el uso de los recursos de la impresión en 3D, para realizar un diseño optimizado y ligero en su estructura interna, con la reducción en su tamaño a

35cm de alto, y con un diseño minimalista como se ve en la Figura 4.

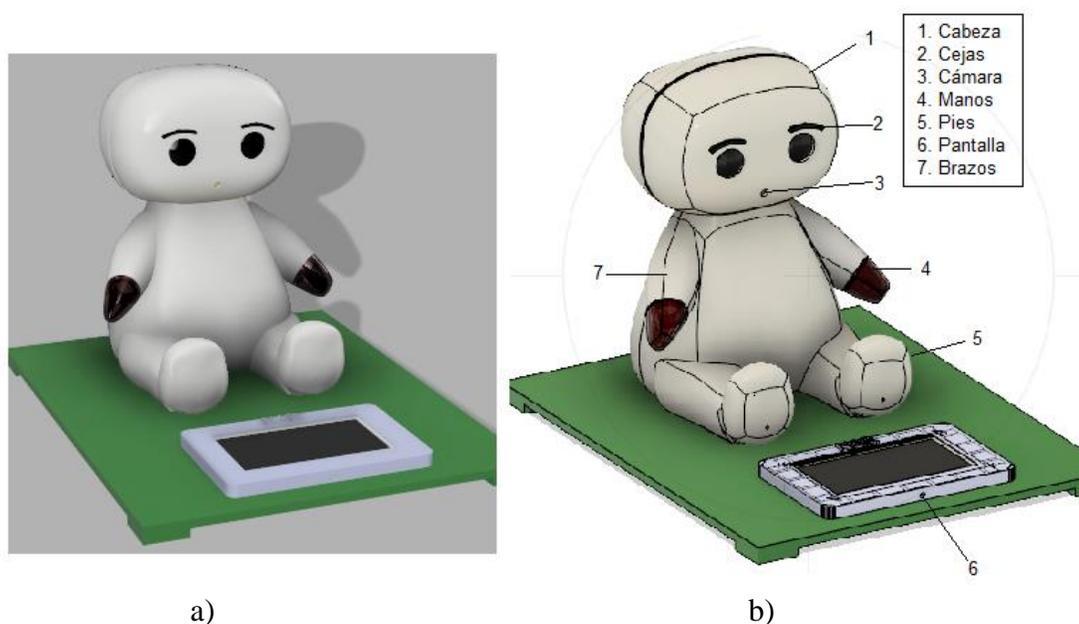


Figura 4. NAR. a) Renderizado b) Partes.

El robot podrá interactuar, comunicarse, y expresar emociones como: tristeza, enojo, duda, sorpresa y felicidad; a través del movimiento de sus cejas, y cabeza, además mediante sonidos y luces en sus manos que de acuerdo a la emoción cambiará de color buscando reforzar estos comportamientos, por ejemplo, amarillo para felicidad, azul tristeza, rojo enojo, etc. El robot será capaz de mover sus pies, cejas y cabeza.

Cuando un robot con apariencia humana provoca reacciones de rechazo o miedo, debido a sus semejanzas, se afirma que el robot ha caído en el “Valle Inquietante”, este término fue creado por Masahiro Mori, en 1970, para explicar las reacciones humanas en el campo de la robótica, por ello se seleccionó el diseño (minimalista) mostrado en la Figura 4, para evitar caer en este punto. (Díaz, 2015)

Entre otras características, el robot tendrá reconocimiento facial, donde la cámara estará

ubicada en la boca; contará con una interfaz gráfica de control HMI en un computador, para seleccionar el tema de aprendizaje, el modo de operación etc. Un mando remoto de movimientos por medio de un Joystick y lo que el robot puede comunicar a través de un teclado.

Su aplicación está orientada al aspecto educativo, enseñando números y colores; siendo una herramienta didáctica para reforzar el aprendizaje de niños/as entre los 2 y 5 años. Y con el uso de percepción háptica o táctil de objetos, es decir si un niño toca su mano, el robot a través de sensores receptorá este tipo de estímulos.

Incluyendo también una pantalla táctil como se ve en la Figura 4. La cual sirve para programar algunos juegos sobre los números. Para estimular a los niños visualmente y lograr captar mejor su atención. Y a través de la diversión exista un mejor dominio sobre los temas tratados con el robot.

1.5. Estructura del documento

El documento consta de cinco capítulos: El primero presenta información básica acerca del proyecto, sus antecedentes, objetivos, alcance, importancia y descripción general; en el segundo se ven todos los estudios, proyectos e investigaciones realizadas antes de la ejecución de la presente tesis, que tengan relación con el mismo tema.

Una vez definidos los objetivos y toda la teoría para fundamentar el proyecto, se prosigue a la realización de conceptos, con diferentes mecanismos, sistemas electrónicos, de control, estructura física, procesos a implementar, etc. Es decir, el diseño del proyecto (capítulo 3) tomando en cuenta los requerimientos y objetivos finales que se pretenden cumplir, para su posterior implementación.

En el capítulo 4 se realiza la construcción y las pruebas del diseño seleccionado previamente, que será el que cumple la mayoría de requerimientos planteados, ya que un diseño nunca es perfecto

debido a que habrá características más importantes y tendrán prioridad sobre otras.

Finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, que van de acuerdo a los objetivos planteados, sin dejar de lado los anexos pertinentes.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

En el capítulo se desarrolla una recopilación de los sistemas tecnológicos que se implementan en NAR, además de analizar robots con similares características u objetivos. La robótica social es el tema central, del cual se desprenden aspectos como historia, tecnología implementada y ejemplos.

El estudio se enfoca en el aprendizaje debido, a que como se mencionó en el capítulo anterior, es de suma importancia para el desarrollo de naciones, además se seleccionó la población con alta densidad según su edad.

Dentro de las tecnologías implementadas se encuentra la visión artificial, herramienta básica para facilitar la interacción con el usuario mediante acciones realizadas por el robot según un estímulo, en este caso visual.

2.1. Evolución de la robótica

En la historia el desarrollo inmediato comenzó con la Revolución Industrial, donde se empezó a utilizar las máquinas como herramienta de trabajo para mejorar la productividad de las fábricas (Dario, Guglielmelli, & Laschi, 2001). Con el tiempo estas máquinas empezaron a realizar trabajos de manera “independiente”, es decir cada vez con menos ayuda o supervisión humana, entrando así a la automatización de procesos, que, con el paso de los años, mejora continuamente para la optimización de los mismos. Pocos años después comienza la introducción de robots tele operados y preprogramados. (Dario, Guglielmelli, & Laschi, 2001)

Con el avance tecnológico se mejoran los robots y el desarrollo crece a gran velocidad, al tener una gran acogida y buenos resultados en la implementación de los mismos en la industria, se comienza a usar robots destinados al servicio del ser humano. Y al encontrarse más presentes en la vida cotidiana, se trata de que la interacción hombre – máquina sea la adecuada, ya que la tecnología tiende a ser algo cómodo para el hombre, y así comienza la robótica social.

La cual no se preocupa solo de realizar un servicio, si no que las máquinas sean amigables con el ser humano, y para ello se las dota de una apariencia agradable, con una mejor interfaz para que la reacción del humano ante los robots sea positiva y beneficiosa para sí mismo.

Avanzando con el desarrollo de los robots sociales, se comienzan a abrir innumerables campos en los que son una herramienta valiosa para conseguir mejores resultados. Así se inician los estudios para su implementación en la educación, salud, hogares, centros de servicio, etc.

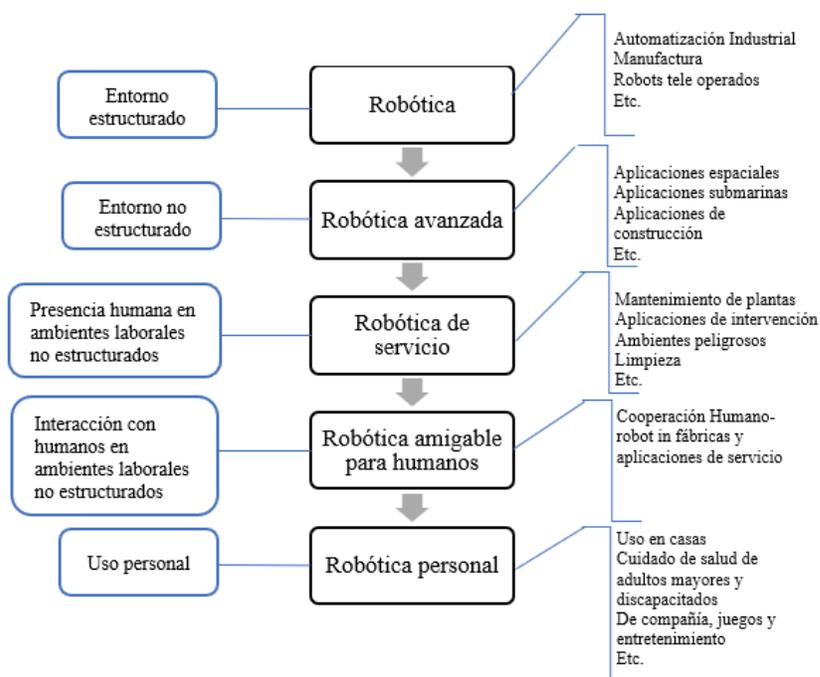


Figura 5. Evolución de los robots
Fuente: (Dario, Guglielmelli, & Laschi, 2001)

En la Figura 5 observamos, que el último escalón corresponde a los robots personales o de servicio, que desempeñan múltiples roles dentro de una sociedad, como es la interacción y convivencia con los seres humanos. Por esta razón el comportamiento del robot debe ser analizado estrictamente a fin de que bajo ninguna circunstancia alguna acción perjudique al ser humano.

2.2. Robots Sociales

Parte de la evolución de los robots son los llamados robots sociales o de servicio, que interactúan con personas imitando comportamientos humanos para mejorar la interacción, rigiéndose a normas sociales. La Federación Internacional de Robótica define a un robot de servicio como: “Un robot que opera de manera automática o semiautomática para realizar servicios útiles al bien del ser humano o a su equipamiento, excluyendo las operaciones de fabricación”. Como ejemplo tenemos a un robot que realiza el mantenimiento de las líneas de alta tensión como se ve en la Figura 6. (Aracil, Balaguer, & Armada, 2008).



Figura 6. ROBTET
Fuente: (Aracil et al., 2008)

Interactuando directamente con los seres humanos nacen a partir de los robots de servicio, los robots de asistencia social o robots personales (Salichs, Salichs, Encinar, Castro, & Malfaz, 2014), que como su nombre lo indica asisten a los seres humanos en sus actividades diarias, por lo cual se tiene más control y cuidado debido a encontrarse relacionados con las áreas de la educación y salud.

Durante los últimos años se han mejorado los robots de asistencia social dotándolos de inteligencia artificial, visión artificial, imitación de emociones y gestos; siendo herramientas para interactuar con los seres humanos para dar al robot ciertas habilidades sociales (sociabilidad artificial) (Broekens, Heenrink, & Rosendal, 2007).

2.3. Tipos de robots sociales

2.3.1. Robots de asistencia social

Los robots de asistencia social brindan servicios de asistencia médica o en necesidades básicas como: comer y bañarse. Sirven para monitoreo, por lo que se usan con adultos mayores o enfermos y en aspectos de seguridad. Algunos ejemplos tenemos, como:

2.3.2. Nursebot Pearl

Es un robot de servicio que ayuda a las tareas diarias, principalmente para adultos mayores, *Nursebot* también entra en la categoría de robots de compañía debido a que esta es una de sus funciones.

Otro de los servicios que tiene el prototipo es dar seguimiento a los medicamentos que tiene una persona y recordar cuando tiene visita con el médico. El robot se comunica a través de un panel

táctil y se trata de que su apariencia sea de lo más agradable a la vista de los seres humanos, como se ve en la Figura 7.



Figura 7. Nursebot Pearl

Fuente: (Carnegie Mellon University, 2004)

Los creadores de Pearl piensan implementar chequeos remotos, es decir que sea el canal para que un médico pueda atenderlos, y así mejorar la vida y salud de los adultos mayores. (Carnegie Mellon University, 2004)

Uno de los aspectos más importantes de los robots de servicio, es su apariencia amigable, ya que, si los usuarios se sienten incómodos de alguna manera, el robot no podrá cumplir sus objetivos de manera adecuada. Por esta razón, “Pearl” posee ojos, boca y cejas ubicados de manera simétrica. Y de este punto nace la pregunta, ¿qué tan humano debe lucir un robot para que sea aceptado?, y para responder esta pregunta se incluye el término “Valle Inquietante”, que se lo explicará más adelante.

2.3.3. *iCat*

Es un robot avanzado, con inteligencia que es capaz de adoptar cierta personalidad dependiendo del usuario. Puede expresar emociones con la ayuda de 13 servos que dan movilidad a ojos, cejas,

boca. Está orientado a ser un compañero de juegos tanto para niños/as y adultos mayores. Tiene el aspecto de un gato como se ve en la Figura 8.



Figura 8. *iCat*

Fuente: (Christoph Bartneck, 2009)

El principal objetivo de *iCat*, es saber las reacciones de los seres humanos a robots con sociabilidad artificial, saber que personalidad prefieren los usuarios y como mejorar la interacción entre el ser humano – máquina, dotándolo de inteligencia al adquirir información de la red y visión activa. (Meerbeek, Hoonhout, Bingley, & Breemen, 2016)

2.3.4. *Care-O-bot*

Es un robot modular destinado a la asistencia de actividades domésticas, pero también puede ser usado como guía en lugares de entretenimiento, servicio de entregas, etc. Debido a que, por su modularidad, sus extremidades pueden ser removidas y cambiadas por accesorios acorde a la función específica que se le otorgue.

Actualmente encontramos la cuarta generación de *Care-O-bot*, en la cual se implementaron ciertas habilidades sociales para mejorar la interacción con los usuarios haciéndolo más natural y amigable, a diferencia de sus antecesores, como se puede mostrar en la Figura 9.

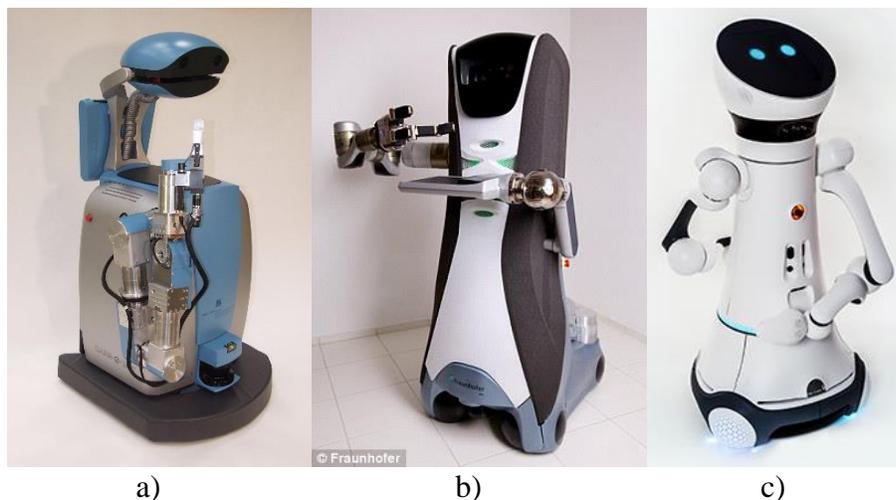


Figura 9. Care-O-bot. a) 2da generación, b) 3ra generación, c) 4ta generación
Fuente: (Fraunhofer, 2002)

2.3.5. Robots de compañía

Los robots de compañía van orientados a la salud y bienestar psicológico de adultos mayores, o niños/as con discapacidades mentales, donde su papel fundamental es brindar compañía, algunos ejemplos son:

2.3.6. PARO

*PARO*² es un robot zoomórfico con forma de foca como se ve en la Figura 10, es un robot terapéutico creado en Japón por AIST³. *PARO* posee 5 sensores: de luz, sonido, táctil, temperatura y postura, que le permiten reconocer si lo acarician, o golpean, reconocer y seguir voces, distinguir nombres, saludos y alabanzas. También puede reconocer la luz u oscuridad.

² Personal Assistant Robot

³ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology



Figura 10. *PARO* robot
Fuente: (Canarias Blog, 2008)

PARO posee el récord Guinness por ser el robot más terapéutico del mundo, de acuerdo a los resultados obtenidos se ha demostrado que *PARO* reduce el estrés de adultos mayores y mejora la relación entre un paciente y su cuidador, aumenta la relajación y ayuda a la motivación. (PARO Robots, 2014)

Muchas terapias psicológicas involucran el contacto con animales, *PARO* es una gran demostración de la aplicación de herramientas sociales en robots para brindar salud mental a los seres humanos. Al adoptar comportamientos y reacciones adecuadas ante estímulos dados por los seres humanos, y con un aspecto agradable, ayuda a cumplir el objetivo de los robots sociales.

2.3.7. *Huggable*

Es un robot de compañía desarrollado en los laboratorios del MIT⁴ dedicados a las aplicaciones de salud, educación y comunicación social, con el objetivo principal de no ser visto como un robot,

⁴ Massachusetts Institute of Technology

sino como un oso de peluche interactivo con él fin de llegar a ser un miembro más del grupo, y no reemplazar a ninguna persona.

Tiene la capacidad de percibir a través de todo su cuerpo utilizando 1.500 sensores sensitivos, actuadores de retroceso, dos micrófonos, dos cámaras, un sensor inercial, un altavoz y un computador integrado con tecnología inalámbrica.

Los actuadores implementados son “silenciosos”, es decir que, en los movimientos del robot, no se sienten ni escuchan engranajes, la piel suave de silicona hace más natural la interacción como se observa en la Figura 11, además su peso es similar al de un cachorro promedio.



Figura 11. Huggable
Fuente: (MIT, 2015)

Huggable cuenta con una aplicación llamada “Robot Communication Avatar”, la cual permite una interacción entre un usuario que se encuentre lejos, mediante los movimientos y gestos de *Huggable*, consiguiendo una comunicación de mejor calidad en comparación con la común en la actualidad, que se realiza mediante audio y video. El operador no se encuentre presente, controla el robot mediante un sitio web que le permite ver y escuchar al usuario que se encuentre con el robot. (MIT, 2015)

2.3.8. AIBO

*AIBO*⁵ es otro ejemplo de un robot social de compañía zoomórfico en forma de perro como se observa en la Figura 12, creado por SONY para brindar diversión en los hogares, posee una cámara de ojo de pescado que le permite hacer SLAM⁶, lo cual ayuda a que vaya adaptándose y aprendiendo de su entorno.

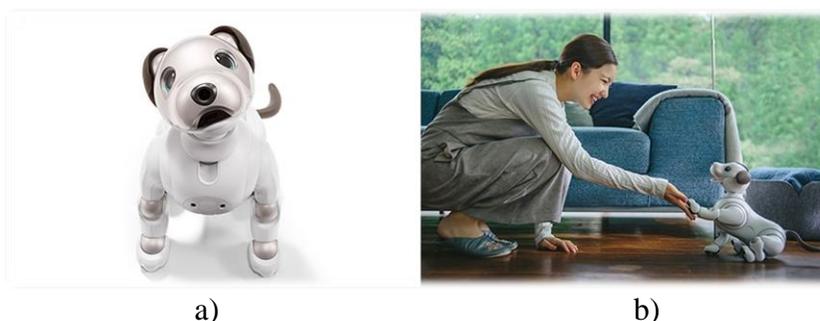


Figura 12. Aibo Robot, a) *AIBO*, b) *AIBO* interactuando

Fuente: (Sony, 2017)

2.4. Interacción humana – máquina

2.4.1. Historia

En los 80s, del siglo pasado, los ordenadores tomaron popularidad entre las personas; lo más importante para los usuarios, era el nivel de complejidad en el uso de los mismos; mientras a la par se empezaban a desarrollar sistemas de reconocimiento de gestos mediante dispositivos apuntadores.

⁵ Artificial Intelligence Robot

⁶ Simultaneous Localization and Mapping

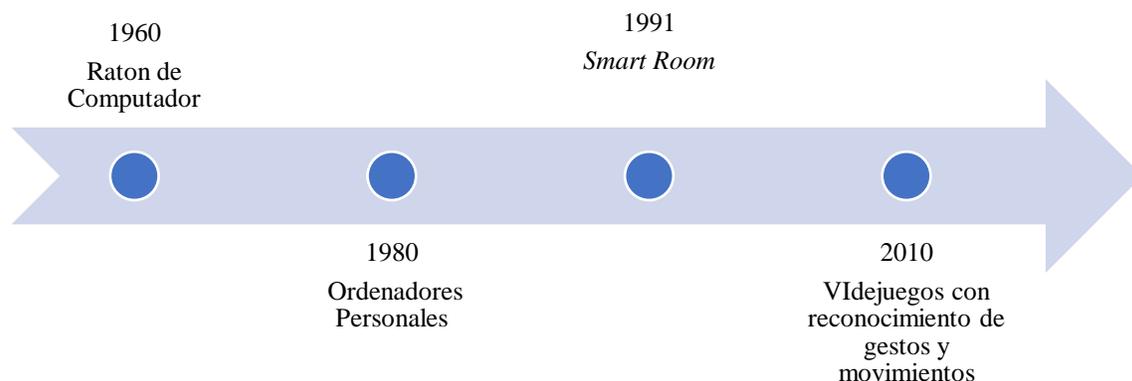


Figura 13. Línea de tiempo Interacción humano-máquina

Una de las primeras herramientas en volverse comunes y mundiales es el ratón del computador (Figura 14), dicho dispositivo fue creado por Douglas Engelbart y permitía la interacción directa entre el ser humano y la computadora de una manera fácil e intuitiva.

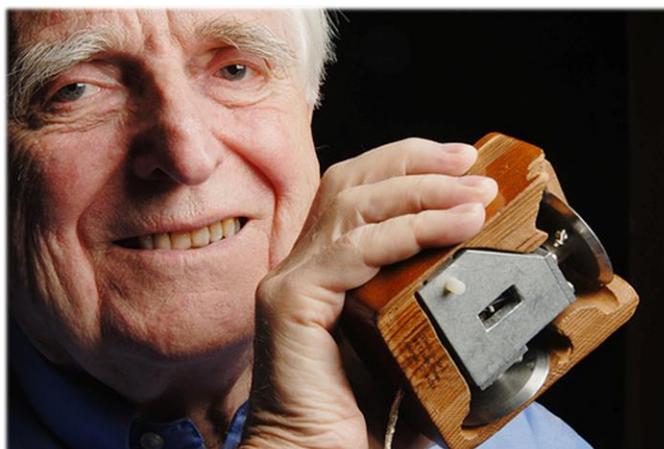


Figura 14. Douglas Engelbart con su invento.
Fuente: (Digital, 2018)

En el año 1991, se realizó el primer prototipo de un sistema computarizado que permitió a las personas trabajar con él, como un asistente. Dicho sistema conocido como *Smart Room* estaba conformado por sensores, cámaras y micrófonos, para identificar lo que el ser humano realizaba mediante seguimiento 3D de la cabeza, manos, pies y reconocimiento de gestos como se puede

observar en la Figura 14. Actualmente se encuentran implementados en países como Japón, Francia e Inglaterra. (Cipolla & Pentland, 1998).

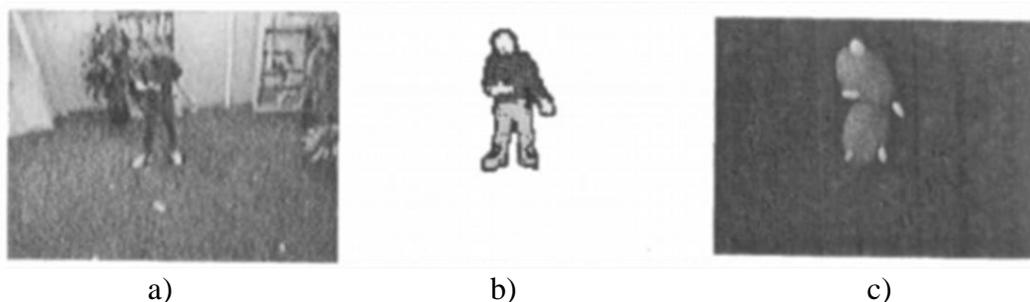


Figura 15. Reconocimiento de gestos en “Smart Room”.
 a) Imagen capturada, b) Persona detectada, c) Ubicación de extremidades
 Fuente: (Cipolla & Pentland, 1998)

El sistema además contaba con un procedimiento de reconocimiento facial como se observa en la Figura 16, el cual consta de cuatro pasos. Cabe recalcar que el sistema no diferenciaba entre diferentes personas, sino que interpretaba los gestos faciales, para responder a los mismos mediante una acción.

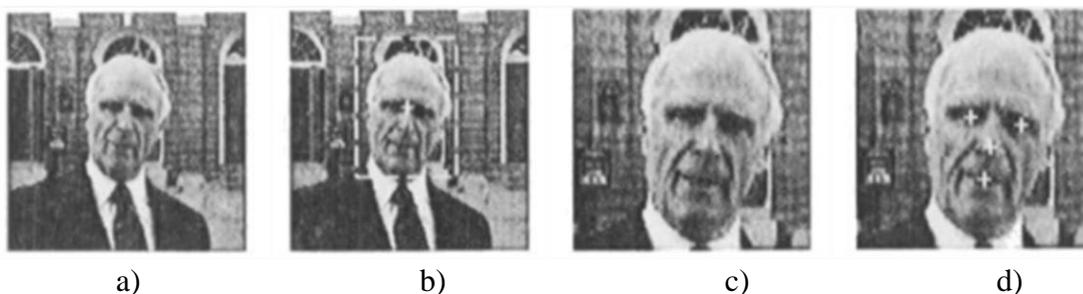


Figura 16. Detección de cara por medio de puntos.
 a) Imagen original, b) Estimación de posición y escala, c) Imagen normalizada,
 d) Posicionamiento de características faciales.
 Fuente: (Cipolla & Pentland, 1998)

Posterior a la detección de cara, el sistema debía analizar las expresiones faciales e interpretarlas en estados, esto se realizaba mediante modelos de energía-movimiento como los mostrados en la Figura 17, de esta manera el sistema sabría cómo reaccionar.

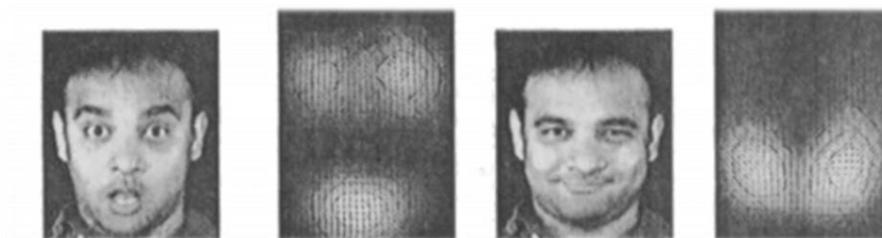


Figura 17. Representación de estados de ánimo
 a) Sorpresa. b) Representación de Sorpresa. c) Sonrisa. d) Representación de Sonrisa.
 Fuente: (Cipolla & Pentland, 1998)

En el año 2010 salió al mercado de los videojuegos uno de los primeros artefactos tecnológicos que reconocía gestos y movimientos del usuario y realizaba acciones de acuerdo al mismo con el nombre de Kinect de la Figura 17, desarrollado por la empresa *Microsoft*.

Dicho dispositivo tuvo gran acogida a nivel mundial debido que, a diferencia de la competencia, no necesitaba ningún tipo de control o accesorios adicional, sino únicamente lo controlabas con movimientos corporales y la voz.



Figura 18. Kinect
 Fuente: (Microsoft, 2017)

En la actualidad la interacción humano-máquina se enfoca en el reconocimiento de gestos del usuario, siendo audibles o no audibles, analizándolos en varias personas para obtener un patrón común el cual pueda aplicarse en un algoritmo computacional a fin de interpretar de manera adecuada lo que el usuario comunica.

2.4.2. Características de un robot social

2.4.2.1. Interacción bidireccional

Un aspecto muy importante para la interacción, es que exista una comunicación bidireccional. Si el usuario se comunica con el robot, espera tener una respuesta por parte de él. (de Graaf, Allouch, & Dijk, 2015). Un estudio realizado con el robot Karotz (Figura 19) en la Universidad de Ciencias Aplicadas Saxion, con la participación de 21 personas de diferentes edades, en un periodo de 6 meses. Con el objetivo de encontrar las características sociales de un robot para mejorar la interacción.



Figura 19. Robot Karotz
Fuente: (Robot Center, 2018)

El estudio dio como resultado, que los usuarios sentían cierta frustración cuando hablaban con el robot y debían pulsar un botón o ejecutar un comando para tener una respuesta. Por lo tanto, para lograr una buena interacción debe existir una comunicación bidireccional.

2.4.2.2. Antropomorfismo

La interacción social depende de los observadores, por esta razón, para conseguir un robot socialmente atractivo, se recomienda buscar un aspecto antropomórfico, siempre y cuando no llegue al Valle Inquietante propuesto por Mori. En donde se establece que mientras un robot se

parezca más a un ser humano, el sentido de familiaridad del humano aumentará hasta llegar a dicho Valle, en el cual la interacción no será agradable.

Una vez que el robot sea totalmente parecido a un ser humano, es decir que no se puede diferenciar entre ambos, se considera que se superó el Valle Inquietante, y el ser humano volverá a sentirse cómodo al interactuar con el humanoide.

Como se puede observar en la Figura 20, existe un tramo en el que la apariencia del robot es soportable. Es aceptado antes de que el parecido con un ser humano o animal sea del 75%, pasando este porcentaje se llega al “Valle Inquietante”, donde la apariencia del robot no es agradable a la vista, causando incomodidad o malestar. Sin embargo, si la similitud aumenta aproximadamente del 85%, se sale del valle y otra vez aumenta el agrado hacia el robot, mejorando la interacción. (Mori, Masahiro, 1970)

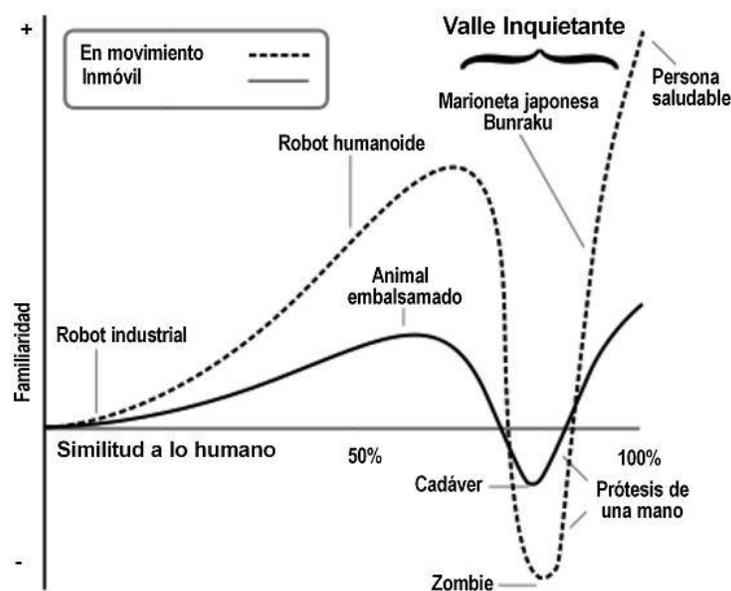


Figura 20. Valle Inquietante
Fuente: (Argentina, n.d.)

El requerimiento mínimo para que exista una interacción entre un robot social y un ser humano es que se pueda adaptar a las situaciones sociales cotidianas, mostrar que entiende la situación y responder a la misma, mediante una voz artificial, una pantalla, etc.

Con la unión de la comunicación oral o escrita, con expresiones emotivas, se pueden obtener modelos complejos acerca de comportamientos sociales. Cabe recalcar que para lograr una comunicación satisfactoria no es necesario que el robot haga exactamente lo que un humano hace al comunicarse o demostrar emociones, ya que es sumamente complicado por ser algo único de cada persona, sino simplemente se necesita que realice ciertas acciones básicas y generales de la idea o emoción que se desea expresar.

Para que el robot pueda entender emociones, se trata de inteligencia emocional la cual se define como: “la habilidad de monitorear las emociones propias y las de otros, y diferenciar ambas a fin de conseguir información sobre las posibles acciones a realizar”.

Según el modelo de Rasmussen. (Boy, 2011), los seres humanos trabajan en la capa de “Conocimiento” (Figura 21), debido a que son capaces de identificar situaciones que no se encuentren dentro de los patrones establecidos en el sistema computarizado

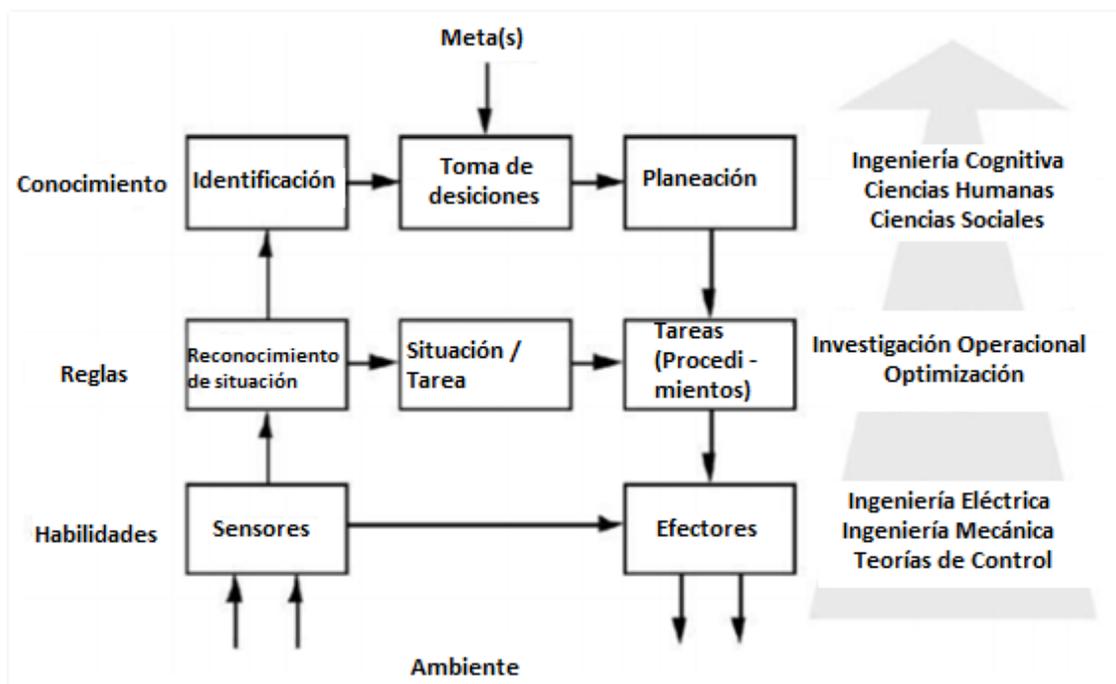


Figura 21. Modelo de Rasmussen.

Fuente: (Boy, 2011)

En la actualidad se busca lograr un sistema totalmente automático, el cual pueda tomar decisiones por sí mismo en base a circunstancias y comportamientos anteriores, utilizando inteligencia artificial.

Existen algunos prototipos como Sophia (Figura 22), un robot humanoide creado por Hanson Robotics, que es capaz de responder preguntas gracias a su inteligencia artificial, además de realizar gestos; su creador David Hanson asegura que el robot no tiene conciencia propia y que para llegar a eso puede tardar hasta 50 años más. (Robotics, Sophia, 2017)



Figura 22. Sophia. Intel Developer Forum, Shenzhen 2016
Fuente: (Robotics, Sophia, 2017)

2.4.3. *Empatía y emociones sociales*

En niños y niñas de 2 a 5 años se dan cambios importantes en el desarrollo socio emocional que tiene varias etapas, donde a los 3 años el niño/a comienza a mostrar consciencia de que es una persona en sí mismos, su mundo social aumenta y comienza la interacción con otros seres humanos, sin embargo, pueden estar en soledad, es decir son más autónomos, incluso están en la capacidad de hacerse cargo de alguien más pequeño. (UNICEF, 2004)

Como se menciona las emociones sociales se desarrollan durante la vida, y la empatía y el egocentrismo juegan un papel fundamental en la parte social que surgen a partir de los dos años, esto se transmite de un ser vivo a otro, “ponerse en los zapatos de la otra persona”. (Instituto Tecnológico Superior de Zapotlanejo, 2008)

En la robótica social, si se logra que un niño sienta empatía por un robot se logrará con éxito gran parte de la interacción, por ello es importante que el robot simule emociones para conseguir este objetivo, junto con herramientas sociales que se mencionaran más adelante como es la atención compartida.

Si se logra conseguir esta sociabilidad entre el niño o niña y el robot, existirá más atención e interés hacia el robot, pudiendo así cumplir con el objetivo del robot social que puede ir orientado a brindar salud mental, en el ámbito de la educación, salud, etc. (Meltzoff, Kuhl, Movellan, & Sejnowski, 2009)

2.4.4. *Sistema háptico*

La Percepción háptica es la asociación de la percepción táctil y cinestésica, la primera realizada a través de receptores cutáneos percibiendo cualidades térmicas y de consistencia; la segunda proporcionada por el movimiento voluntario de las manos permitiendo percibir la textura, aspereza, dureza y forma. (Instituto de Tecnología Educativas)

Un Sistema háptico consiste en la implementación de sensores que detecten la fuerza aplicada en un punto, y la reacción que estos estímulos producen.

En el año 2004, una investigación en el laboratorio de háptica de la universidad John Hopkins se logró realizar este sistema de manera satisfactoria, abriendo campo a la aplicación en la medicina como son cirugías asistidas por robots, mediante una retroalimentación del mismo tipo hacia quien manipule dicho robot.

Este tipo de sistema con retroalimentación, aumentó la sensación de presencia para los cirujanos al realizar operaciones a distancia, volviéndola más segura. (Okamura, 2004)

Debido a que los conocimientos e ideas mentales son elaboradas a partir de la percepción de los sentidos, un Sistema Háptico generaría mucha información al robot para poder realizar acciones según lo que perciba; y además generaría mayor número de ideas al usuario que en este caso son niños. (Instituto de Tecnologías Educativas, n.d.)

2.5. Tecnología en la educación

2.5.1. Robots educativos

La psicología del ser humano es compleja debido a los muchos comportamientos impredecibles. Sin embargo, antes de llegar a la adultez, este pasa por una evolución, donde empieza con comportamientos básicos que van desarrollándose.

En la niñez existe el pico en el que el ser humano tiene una gran capacidad de aprendizaje y se van desarrollando habilidades cognitivas y de abstracción, por ello es muy importante el seguimiento del aprendizaje en los niños y niñas, y aprovechar esta capacidad estimulando con herramientas técnicas y pedagógicas.

Conceptos como la imitación y la atención compartida son muy importantes al pensar en una herramienta de aprendizaje, ya que los niños y niñas pequeñas mayores de 1 año aprenden a través de estos dos conceptos, es decir imitan lo que hacen los adultos o las personas de su entorno, y a su vez la atención compartida que es lograr mostrar o compartir a través de la mirada objetos de interés, por ello los medios visuales son muy importantes para tener el seguimiento de la mirada del usuario. (Meltzof, 2012)

Por lo tanto, en un robot social orientado a la educación se debe tomar en cuenta varios factores en su construcción y programación, ya que debe tener una forma amigable que no cause aversión,

sea fácil para interactuar y esta interacción dure cierto tiempo, ya que de acuerdo a los estudios este es un campo que no se ha desarrollado rápidamente como es el caso de la estructura y parte física.

Aunque niños/as de tempranas edades (año y medio, dos años) no perciben lo que es un robot, pero si reaccionan a estímulos para la atención compartida y medios visuales. Así que un robot puede influenciar de manera indirecta en el aprendizaje, y se ha demostrado científicamente que el uso de los mismos mejora los resultados. (Meltzof, 2012)

En niños/as de mayor edad ya perciben un robot y al vivir en un mundo rodeado de tecnología, llama más la atención, aunque lo crítico es mantener la atención, y aquí es donde entra la interacción y el algoritmo del robot que debe ir mejorando continuamente. Por lo que los robots para la educación deben tener extensos módulos de aprendizaje si es para educación continua e inteligencia artificial para que el robot aprenda de su entorno y mejore continuamente. (Tanaka, Aaron, & Javier, 2007)

2.5.1.1. *Ejemplos de estudios con robots educativos*

Se han mencionado las características importantes que debe tener un robot social orientado a la educación, y el entorno al que se puede enfrentar al cumplir el rol de maestro. Existen varios estudios en el que se usa un robot como herramienta para el aprendizaje.

Al usar un robot como herramienta, se debe tomar en cuenta que también, se debe aplicar una metodología para la enseñanza. El estudio realizado por la Universidad Tsukuba, (Tanaka & Matsuzoe, 2012) aplica una metodología en la que el niño aprende enseñando como se observa en el diagrama de la Figura 23.

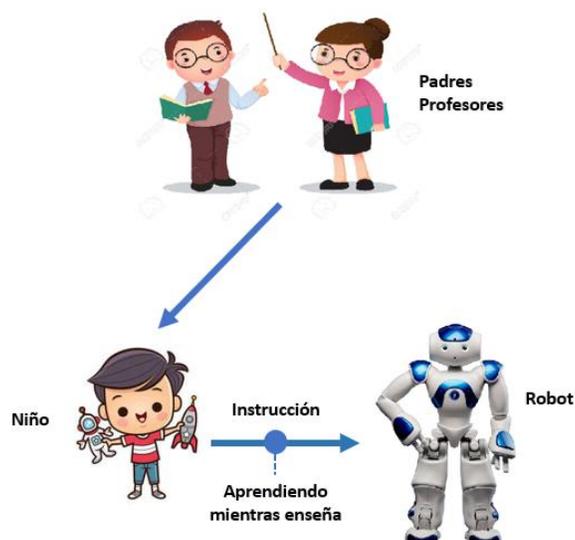


Figura 23. Robot para que un niño aprenda enseñando

Fuente: (Tanaka & Matsuzoe, 2012)

El estudio se realizó en un periodo de 3 días, con niños y niñas de 3 a 6 años, con el robot Nao (Figura 23). Se utilizaron tarjetas con imágenes y letras para que el niño enseñe al robot y de manera indirecta el también aprenda. (Tanaka & Matsuzoe, 2012). Los resultados mostraron que el 60% de niños y niñas después de enseñar al robot tenían un acierto en las respuestas, mientras que sin el robot sólo el 20% daba las respuestas correctas.



Figura 24. Niño enseñando a robot Nao

Fuente: (Tanaka & Matsuzoe, 2012)

Otro de los estudios en el que se utilizó la misma metodología de que el niño aprende enseñando, es en el Instituto Federal Suizo de Tecnología Lausana (EPFL), (Hood, Lemaignan, & Dillenbourg, 2015) que realizó dos estudios con niños y niñas que hablan escriben inglés y otro grupo que habla y escribe francés, entre los 7 - 8 años.



Figura 25. Estudio niños aprenden enseñando a escribir a un robot
Fuente: (Hood et al., 2015)

El estudio tenía varios objetivos, uno de ellos era utilizar inteligencia artificial para que el robot Nao aprenda a escribir tal y como le enseñaba el niño o niña en ese momento. Y así mostrar una buena retroalimentación para que el niño/a aprenda mientras enseña cómo se ve en la Figura 25. Al igual que en el estudio anterior se demostró una clara mejora en el aprendizaje de los niños que utilizan un robot como herramienta educativa. (Hood et al., 2015)

Otro estudio en el que se analiza otra metodología de aprendizaje es en la Universidad Central Ariel, Israel (Fridin & Belokopytov, Computer in Human Behavior , 2014). En donde el robot Nao enseñaba directamente a un grupo de personas.

2.5.2. *Inteligencia artificial en robots sociales*

La inteligencia artificial se la define como: “la simulación de procesos de inteligencia humana por parte de máquinas, incluyendo procesos de aprendizaje, adquisición de información, reglas para el uso de la misma, razonamiento y autocorrección.”(McCarthy, 1956)

Por otra parte, Rich y Knight en 1992, afirmaron que es: “El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor”.

Cuando estudiamos el comportamiento humano, resulta indispensable estudiar acerca de “la Prueba de Turing”, mucho más cuando se busca simular o lograr un comportamiento similar mediante un sistema computarizado.

Existen dos tendencias en la actualidad conocidas como “Inteligencia Artificial Fuerte” e “Inteligencia Artificial Débil”; los miembros de “Inteligencia Artificial Fuerte” consideran que es posible duplicar la inteligencia humana en un sistema artificial, en donde el cerebro es visto como un tipo de máquina biológica que sigue patrones para saber cómo actuar. (Duffy, 2003). Mientras que los seguidores de la tendencia de “Inteligencia Artificial Débil” consideran que el mismo nombre de inteligencia artificial asegura que la inteligencia humana solo puede ser simulada, mas no duplicada. (Duffy, 2003)

Los robots sociales emplean este tipo de inteligencia para aprender de sus acciones y entorno, para tomar decisiones acertadas a futuro basándose en un conocimiento previamente adquirido por el robot, y no establecido por el creador; haciendo que la interacción en general sea más natural. (Minsky, 1967)

El robot NAR implementará una máquina de estados finita, la cual se caracteriza por que su

comportamiento puede ser descrito por completo según el ambiente en el que se desarrolle, siendo esto lo más básico de la Inteligencia artificial.

2.6. Visión Artificial en robots sociales

La Visión Artificial es una herramienta cuyo principal requerimiento es procesamiento de imágenes en tiempo real, y consiste en detectar e interpretar objetos para posteriormente realizar una acción específica. Si a esto se le añade movimiento automático se conoce como “Visión Activa”, la cual contribuye en la disminución de errores que se producen en los sistemas de visión artificial comunes que trabajan con un sistema de cámaras estáticas, además de simplificar el procesamiento computacional si es adecuadamente implementado.

2.6.1. Visión Activa

Esta herramienta es ampliamente usada en robots sociales en la comunicación, ya que el robot debe interpretar gestos del usuario para poder responder de manera deseada, tomando en cuenta que el usuario en este caso será un infante el cual generalmente no se encontrará estático en un solo lugar, convirtiendo a la visión activa en una ayuda fundamental para el proceso.

Los sistemas que implementan Visión Activa son limitados debido a la complejidad de la percepción que debe tener en cada situación y escenario, además de distracciones externas que son interpretadas como perturbaciones al sistema.

Existen aspectos que se encuentran en desarrollo, buscando obtener una interacción natural entre el usuario y el robot, como por ejemplo los sistemas básicos de seguimiento de un objeto específico o de una entrada de tipo luminosa, lo cual no es de gran importancia para cumplir el objetivo principal de la comunicación. (Davison & Murray, 2006)

2.6.2. Detección de rostros HOG y SVM lineal

Para el seguimiento de rostros, primero se debe establecer un reconocimiento facial. Existen varios métodos de reconocimiento facial como los clasificadores en cascada, HOG y SVM lineal y de aprendizaje profundo.

HOG y SVM lineal

Es un método más rápido y preciso que los clasificadores de cascada y cuenta con la librería denominada DLIB que cuenta con reconocimiento facial y detección de puntos de la cara. DLIB reconoce los puntos más sobresalientes que son: boca, cejas, nariz, ojos y mentón; dando en total 68 puntos del rostro. (Rosebrock, 2017)

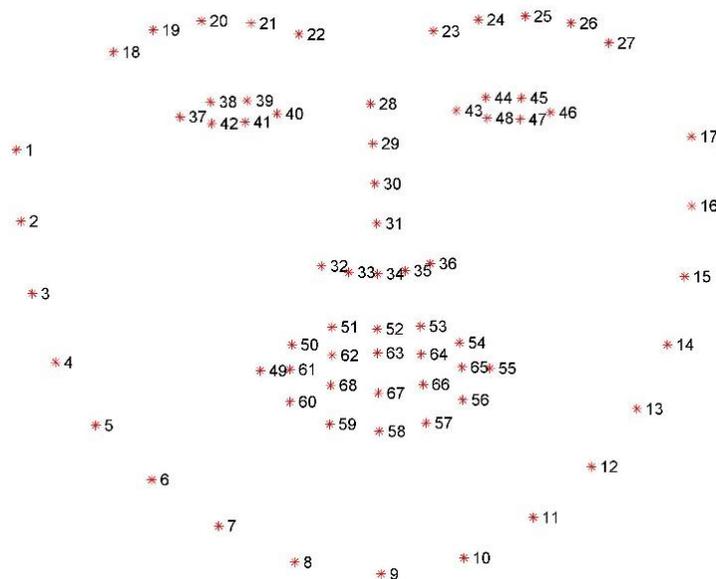


Figura 26. Puntos perfil facial Dlib
Fuente: (Rosebrock, 2017)

2.7. Text to Speech

El TTS (Text To Speech), traduciéndolo al español texto a voz o leer en voz alta. (Taylor, 2009). Una de las personas que más ha aportado es el Profesor Stephen Hawking, ya que por los

problemas de salud que enfrentó, él ha podido implementar y aportar conocimiento sobre el tema. (Taylor, 2009).

El estudio del TTS se extiende hace algún largo tiempo atrás, con el uso de procesamiento de señales para convertir texto en un audio, donde su complemento es el “Speech Recognition” al convertir el habla en texto.

El problema que se encuentra en el uso del TTS es la falta de naturalidad al hablar. Aunque tal vez muchos pensarían lo contrario, debido a lo que las películas de ciencia ficción muestran. Se ha logrado a través de un extenso estudio realizar la conversión, sin embargo, realizar las tonalidades y los acentos correctos de acuerdo al texto escrito es lo difícil. (Sproat & Olive, 1995). Las tonalidades, los acentos son los que dan vida a las expresiones y es lo que se ha tratado de mejorar durante el estudio del TTS. (Taylor, 2009).

Actualmente, se trata de corregir los problemas de acentos y énfasis en el TTS. Un ejemplo es el trabajo realizado por “AT&T Bell Laboratories”, con su sistema TTS, como se observa en la Figura 27. (Sproat & Olive, 1995).

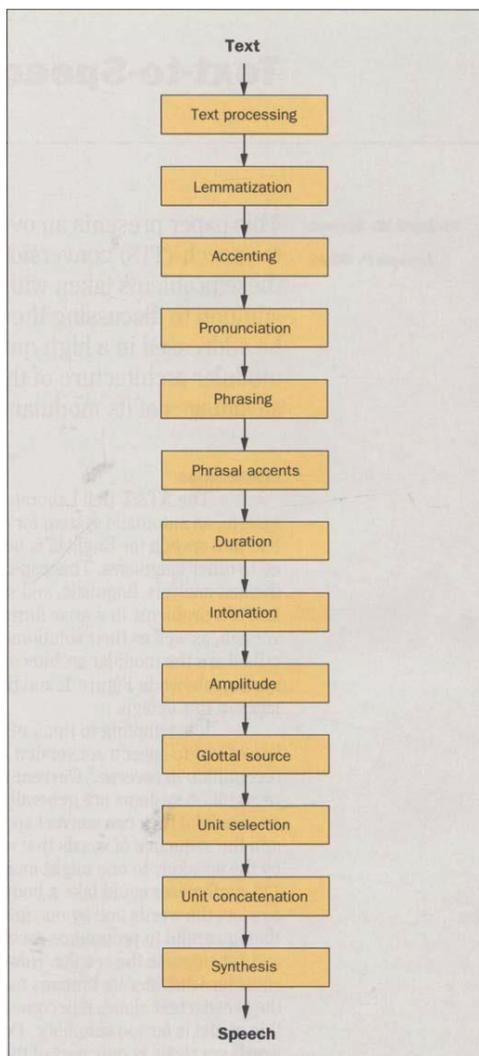


Figura 27. Módulos del sistema TTS de AT&T
Fuente: (Sproat & Olive, 1995)

En el que su algoritmo se divide en módulos para hacer el procesamiento, incluyendo módulos de pronunciación, acento, entonación, sintetiza para finalmente reproduzca el texto escrito.

Se han mejorado muchos de los errores del TTS, y existen una gran variedad de softwares, pagados, libres, en línea. Algunos ejemplos son: Festival (University of Edinburgh, s.f.), eSpeak (Source Forge , 1995), Loquendo (Nuance, 2017), Verbio (Verbio, s.f.), etc. Algunos de estos *text to speech*, permiten cambiar el idioma, la voz. Etc.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO

En el capítulo se especificará el diseño del robot “NAR”, usando la metodología de diseño de sistemas mecatrónicos VDI 2206 (VDI RICHTLINIEN, 2004). Siguiendo la metodología planteada se identificarán las necesidades del proyecto, para obtener los requerimientos de todo el sistema a través de la implementación de la matriz QFD.

El siguiente paso es dividir en módulos y submódulos todo el sistema para aplicar la metodología en V, y obtener las especificaciones de cada subsistema, establecer sus funciones, realizar análisis y cálculos. Unir los subsistemas y realizar las pruebas de funcionamiento de todo el sistema, analizar resultados y regresar al primer paso en caso de cambios por fallos o mejoras que se desean realizar.

3.1. Establecimiento de requerimientos

3.1.1. Identificación de necesidades

Tabla 1

Identificación de necesidades

Necesidades	
1	El robot debe expresar emociones
2	El robot debe detectar y seguir un rostro
3	El robot debe ser teleoperado
4	El robot debe hablar
5	El robot debe enseñar a niños/as
6	El robot debe tener apariencia amigable
7	El robot debe tener una interfaz
8	El robot debe tener una estructura y componentes livianos
9	Robot debe ser compacto
10	El robot debe detectar colores
11	El robot debe tener inteligencia artificial básica

3.1.2. Listado de métricas

Tabla 2

Necesidades, métricas e importancia

	Necesidades	Métricas	Unidades	Importancia
1	1, 2, 3, 5	Movimiento robot	Grados	5
2	1, 3, 4, 5, 7, 11	Emitir Sonidos	dB	3
3	1, 3, 5, 7, 11	Emitir Colores	RGB	3
4	2, 5, 10, 11	Visión Artificial	Subj	4
5	3, 5	Control Joy stick	16 botones	3
6	3, 4, 5	Control por Teclado	Teclas alfanuméricas	3
7	1, 5, 7	HMI	Subj	4
8	3, 4, 5, 11	TTS	Subj	3
9	4, 5	Chatbot	Subj	1
10	5	Pantalla	Subj	4
11	6	Diseño apariencia externa proporcionada	Mm	5
12	8	Masa	Kg	2
13	9	Dimensiones	Mm	4
14	11	Máquina de estados	Estados	3
15	7	Sistema háptico	Voltios	1

3.1.3. Matriz QFD

Tabla 3
Matriz QFD

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Movimiento robot	Emitir Sonidos	Emitir Colores	Visión Artificial	Control Joy stick	Control por Teclado	HMI	TTS	Chatbot	Pantalla	Diseño apariencia externa proporcionad	Masa	Dimensiones	Máquina de estados	Sistema háptico
1	El robot debe expresar emociones	●	●	●				●								
2	El robot debe detectar y seguir un rostro	●			●											
3	El robot debe tener teleoperación	●	●	●		●	●		●							
4	El robot debe hablar		●				●		●	●						
5	El robot debe enseñar a niños/as	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					
6	El robot debe apariencia amigable											●				
7	El robot debe tener una interfaz		●	●				●								●
8	El robot debe tener una estructura liviana												●			
9	Robot debe ser compacto													●		
10	El robot debe detectar objetos				●											
11	El robot debe tener inteligencia artificial básica		●	●	●				●						●	

3.2. Definición de especificaciones

Se establecen las especificaciones y parámetros de diseño:

- Plataforma de desarrollo: ROS
- Dimensiones máximas: 35 cm de alto
- Peso máximo: 3 kg
- Grados de libertad totales: 7
- Emociones: 5
- Idioma: Español
- Arquitectura: Modular
- Voltaje máximo: 110/220 [V] AC, 5[V] DC

3.3. Definición de arquitectura

NAR al ser un robot con arquitectura de tipo modular, se definen los módulos y submódulos en la Tabla 4.

Tabla 4.

Arquitectura Modular de NAR

<i>Módulo</i>	<i>Submódulo</i>	<i>Funciones</i>
<i>Interacción</i>	Text to Speech Chatbot Pantalla Sistema háptico Máquina de estados Expresiones	Simulación de expresar emociones Emitir Colores Emitir Sonidos Hablar Percibir el tacto en las manos

CONTINÚA

<i>Visión Artificial</i>	Detección de rostros Detección de colores	Seguimiento de rostros Juegos de detección colores
<i>Movimiento</i>	Mecanismo Cuello Mecanismo Pies Mecanismo Cejas Motores	Expresar emociones Interactuar con el usuario
<i>Control</i>	Joystick Teclado HMI Tarjeta controladora	Controlar movimientos del robot
<i>Estructura</i>	Material Dimensiones	Poseer tamaño compacto
<i>Enseñanza</i>	Niños de 2 y 3 años Niños de 4 y 5 años	Herramienta didáctica para reforzar temas para la educación de niños/as de 2 a 5 años

3.4. Desarrollo de conceptos

3.4.1. Modulo Interacción

3.4.1.1. Submódulo Pantalla

Opción 1: Pantalla Táctil Nextion Basic 7”

Es una pantalla LCD táctil de 7 pulgadas de diagonal, la cual permite programar las pantallas que sean necesarias, además de una conexión directa a una tarjeta controladora Arduino mediante librerías oficiales. Además, posee comandos propios de la pantalla los cuales permiten realizar acciones independientes a la pantalla sin necesidad de una tarjeta controladora. Posee una memoria Flash de 16MB para almacenar las imágenes y fuentes empleadas, y una memoria RAM de 35842 bytes para las variables que se empleen en la programación.

Opción 2: Pantalla Táctil Nextion Enhanced 7”

Es una pantalla LCD de similares características a su versión Basic, pero posee 8 entradas/salidas de propósito general, además de duplicar su capacidad de memoria Flash y RAM para tareas que manejen mayor cantidad de información. También posee una carcasa que la hace ideal para entornos industriales.

*3.4.1.2. Submódulo Text-to-speech***Opción 1:** Text to Speech de Festival.

El TTS de festival se lo encuentra de manera libre con el paquete SoundPlay de Ubuntu, el idioma propio es inglés.

Opción 2: Text to Speech de Google.

El TTS de Google funciona con internet y se lo encuentra de manera libre en Ubuntu, y tiene idioma español e inglés.

*3.4.1.3. Submódulo Sistema háptico***Opción 1:** Pulsador

Es un dispositivo que permite o no el paso de corriente a través de él mediante una pulsación pasando de estado de circuito abierto a corto circuito, según sea la configuración del mismo.

Opción 2: Sensor Piezoeléctrico

Es un dispositivo que genera voltaje creando una diferencia de potencial cuando se le aplica una fuerza mecánica sobre él, debido a las propiedades internas del material que lo conforma.

3.4.2. Submódulo Máquina de estados

Opción 1: SMACH

SMACH es una librería para realizar máquina de estados para comportamientos complejos de robots. En los que se deben cumplir varias tareas y se tiene bien definidos los estados y transiciones del robot.

Opción 2: Máquina de estados básica en python

Una máquina de estados se utiliza cuando se tiene un procesos o secuencia lógica y se la puede programar en varios lenguajes de programación como Python. Donde cada estado se define con una clase y las transiciones también. Se utiliza máquinas de estados sencillas cuando no se tiene un plan complejo.

3.5. Módulo Visión Artificial

3.5.1. Submódulo Detección de Rostros

Opción 1: Detección de rostro por Haar-Cascade

La detección de objetos se puede realizar mediante clasificadores en cascadas basados en características Haar. Los clasificadores en cascada ayuda a procesamiento de imágenes más rápido pero menos preciso

Opción 2: Detección de rostros por DLIB

Basado en HOG y SVM lineal (Support Vector Machine), método más preciso, en el que se detecta puntos del rostro (filos de los ojos, punta de la nariz, boca, cejas, etc).

Opción 3: Detección de rostros por YOLO

Basado en entrenamientos con aprendizaje profundo, considerado uno de los detectores más rápidos y robusto. Sin embargo, puede ser más pesado dependiendo del entrenamiento y se basa en predicciones tomando en cuenta la imagen global a diferencia de los otros detectores.

3.6. Módulo Movimiento

3.6.1. Submódulo Mecanismo Cuello

Opción 1: Mecanismo cuello de Custom Entertainment Solutions Inc.

El mecanismo de cuello (Figura 28) está formado por 3 servomotores y un mecanismo con una cadena cinemática cerrada que da como resultados 5 grados de libertad. (Custom Entertainment Solutions INC)

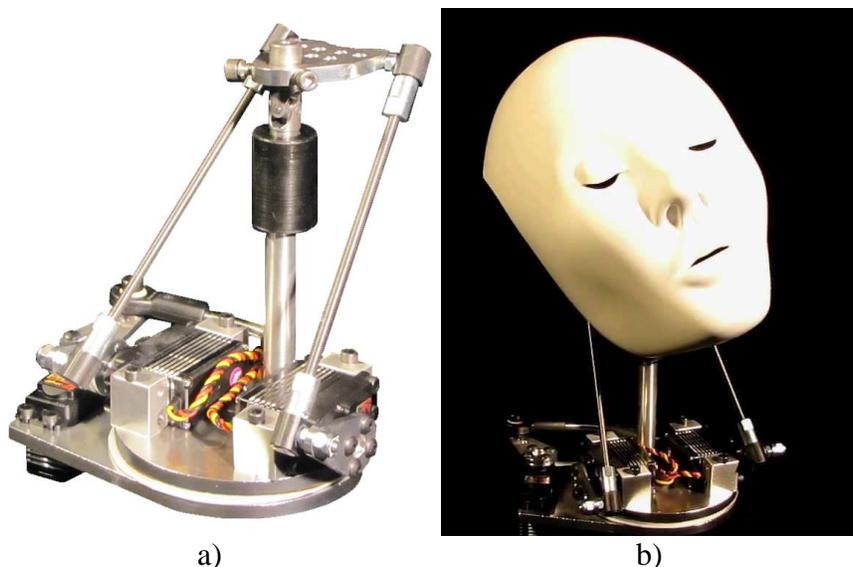


Figura 28. Mecanismo cuello de 5 GDL de animatronics.

a) Mecanismo, b) Mecanismo con cara acoplada

Fuente: (Custom Entertainment Solutions INC)

Opción 2: Mecanismo cuello con engranes de Inmoov

El mecanismo de cuello con engranes de InMoov posee dos grados de libertad, donde se usa un servo acoplado a un engrane para transmitir el movimiento a otro engrane como se observa en la Figura 29.

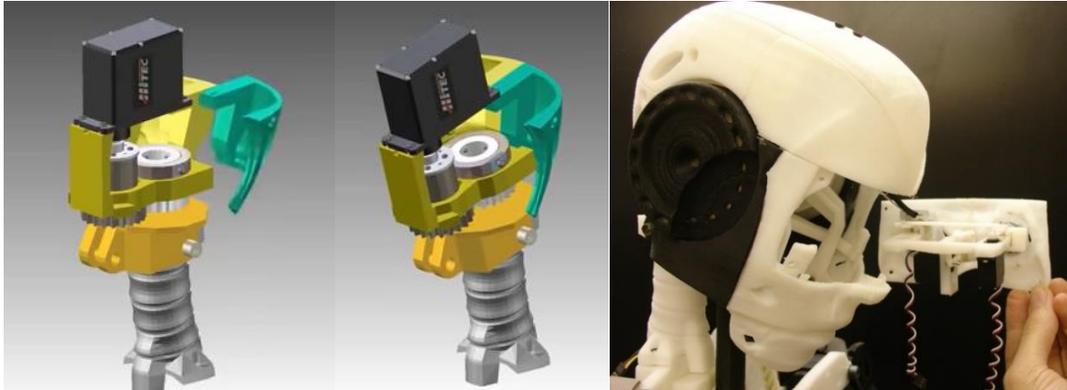


Figura 29. Mecanismo cuello InMoov
Fuente: (InMoov)

Opción 3: Mecanismo cuello 3 DOF

Este mecanismo tiene 3 servomotores, en donde cada uno tiene una pieza de acople para el anterior o siguiente grado de libertad.

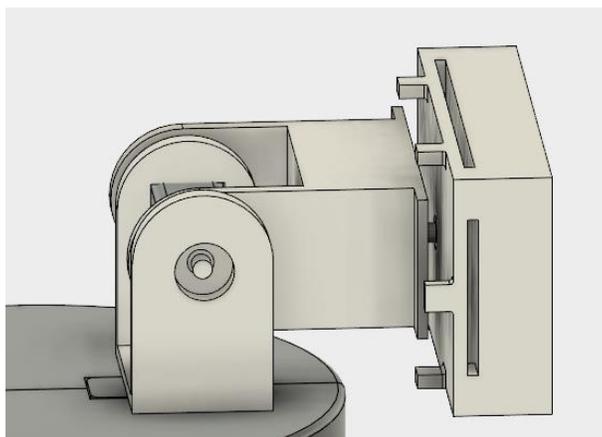


Figura 30. Mecanismo cuello 3 DOF

3.6.2. Submódulo Mecanismo Pies

Opción 1: Transmisión de movimiento mediante engranes.

Este mecanismo transmite el movimiento mediante engranes, hacia el pie, como se observa en la Figura 31.



Figura 31. Mecanismo pie acople con engranes
Fuente: (Autodesk, 2018)

Opción 2: Transmisión de movimiento directa.

Este mecanismo transmite el movimiento de manera directa mediante un acople entre la pieza y el servo.

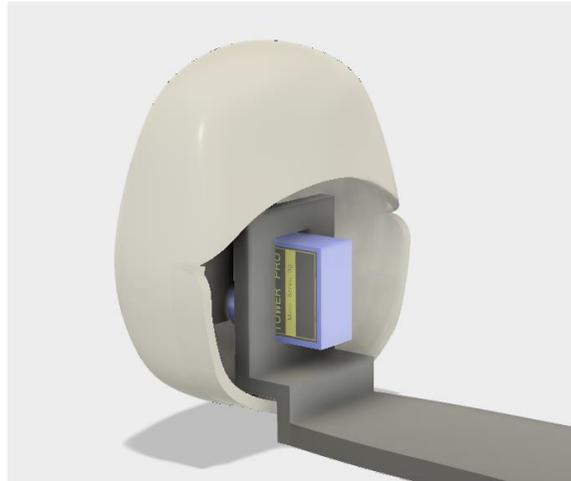


Figura 32. Mecanismo pie acople directo
Fuente: (Autodesk, 2018)

3.6.3. Submódulo Mecanismo Cejas

Opción 1: Mecanismo generador de expresiones faciales

El funcionamiento se basa en dos servomotores que mueven un rodillo con patrones establecidos en el, los cuales a su vez mueven palancas de accionamiento y obtienen la posición de las cejas deseada. Como se observa en la Figura 33.

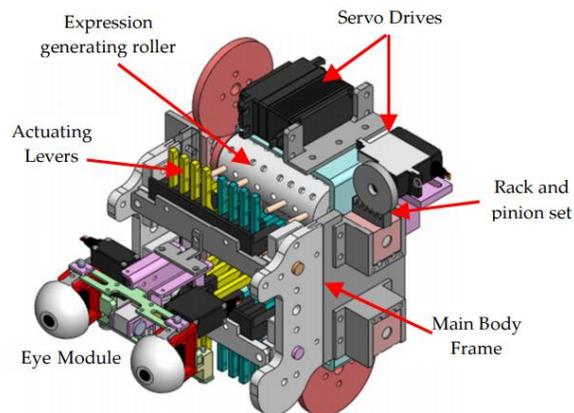


Figura 33. Mecanismo cejas - Generador de expresiones faciales
Fuente: (Asheber, Chyi-Yeu, & Hsiang, 2015)

Opción 2: Movimiento de cejas mediante acople directo

El movimiento se lo realiza mediante un acople directo de los servos y el objeto a girar, en este caso las cejas.

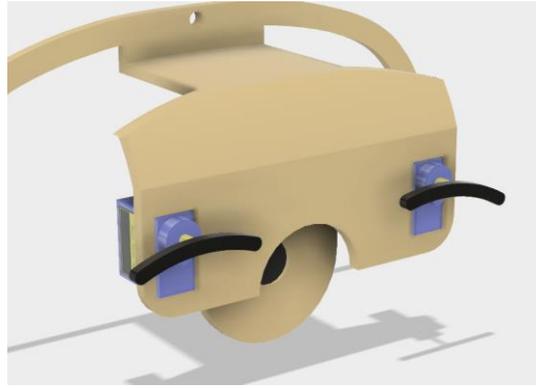


Figura 34. Mecanismo cejas acople directo
Fuente: (Autodesk, 2018)

3.7. Módulo Control

3.7.1. Submódulo Mando

Opción 1: Control Inalámbrico Xbox 360

Posee teclas de movimiento en cuatro direcciones, botones con funciones asignadas según se necesite y 2 análogos de alta precisión, la comunicación con un computador es mediante un cable de comunicación especial de manera alámbrica o con un receptor wifi para hacerlo de manera inalámbrica.

Opción 2: Control Genius MaxFire Grandias

Posee teclas de movimiento en cuatro direcciones, botones con funciones asignables y dos análogos, además posee un botón que hace que los sticks analógicos se vuelvan digitales para usarlos cual botones comunes, la comunicación es de manera alámbrica mediante un puerto USB.

3.7.2. *Submódulo Teclado*

Opción 1: Teclado una mano

Este teclado cuenta con un diseño ergonómico a una sola mano que permite mayor movilidad y flexibilidad al momento de su utilización, el usuario puede asignar las teclas que va a utilizar, pero no posee todos los caracteres de un teclado común

Opción 2: Teclado QWERTY

Es el teclado utilizado en computadores, posee el abecedario, teclas de dirección y un bloque numérico al lado derecho.

3.7.3. *Submódulo Tarjeta Controladora*

Opción 1: Arduino Mega 2560 Rev3

Es una tarjeta controladora que posee 16 entradas analógicas, 54 entradas/salidas digitales de las cuales 15 ofrecen salidas PWM, la programación se la realiza en lenguaje C++ , y debido a que es mundialmente empleada en proyectos, existen sinnúmero de accesorios y dispositivos compatibles que poseen sus propias librerías para poder ser utilizados. Posee 4 puertos de comunicación serial, de los cuales uno es empleado para la comunicación con el computador mediante USB tipo B, y el resto pueden ser utilizados libremente.

Opción 2: Raspberry Pi 3 Model B

Tarjeta controladora con 40 pines de propósito general, 4 puertos USB, puerto HDMI, posee tecnologías de comunicación como Bluetooth, LAN, Wireless LAN y serial mediante USB.

3.8. Módulo Estructura

3.8.1. Submódulo Material

Opción 1: ABS

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) es un material plástico derivado del petróleo, utilizado para partes de vehículos, juguetes, impresiones 3D, etc ; el cual necesita de una cama caliente para ser impreso correctamente. Se recomienda realizar la impresión en lugares ventilados debido a que desprende olores fuertes en algunos casos.

Opción 2: PLA PRO

El Ácido Poli láctico Pro (PLA PRO) es un material plástico biodegradable empleado ampliamente en impresión 3D, debido a sus propiedades mecánicas superiores al ABS (Resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, porcentaje de elongación). No necesita cama caliente para su impresión. No desprende olor durante la impresión.

3.9. Selección de conceptos

Para la selección de conceptos usaremos el método ordinal corregido de los criterios ponderados. Donde primero se definen los criterios de acuerdo al submódulo y se evalúa cada concepto con los criterios.

3.9.1. Módulo interacción

3.9.1.1. Submódulo Pantalla

Para el sub módulo pantalla se definen los siguientes criterios:

- Costo

- Disponibilidad en el mercado
- Aplicación

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 5.

Ponderación de criterios submódulo Pantalla

	Costo	Disponibilidad	Aplicación	$\Sigma+1$	%	1
Costo		0	0.5	1.5	25.000	0.250(1)
Disponibilidad	1		1	3	50.000	0.500
Aplicación	0.5	0		1.5	25.000	0.250
TOTAL				6	100	1

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 6

Ponderación opciones con cada criterio

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%	1
Opción 1		1	2	66.667	0.667(2)
Opción 2	0		1	33.333	0.333
TOTAL			3	100	1
Disponibilidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%	1
Opción 1		1	2	66.67	0.67
Opción 2	0		1	33.33	0.33
TOTAL			3	100	
Aplicación	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%	1
Opción 1		0.5	1.5	50	0.5
Opción 2	0.5		1.5	50	0.5
TOTAL			3	100	

De acuerdo a la Tabla 7 la opción 1 (Pantalla Nextion Basic 7”) es la que mejor que cumple con los criterios establecidos para el sub módulo pantalla.

Tabla 7

Selección de concepto

	Costo	Disponibilidad	Aplicación	TOTAL
Concepto 1	0.167*	0.333	0.125	0.625
Concepto 2	0.083	0.167	0.125	0.375
TOTAL				1.000

$$*Tabla 4(\text{valor } (1)) * Tabla 5(\text{valor } (2)) = 0.25 * 0.667 = 0.167$$

3.9.1.2. Submódulo *Text to speech*

Para el sub módulo *Text to speech* se definen los siguientes criterios:

- Fluidez
- Claridad del habla
- Voz

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 8

Ponderación de criterios submódulo Text to speech

	Fluidez	Claridad	Voz	$\Sigma+1$	%	1
Fluidez		0	0	1	16,667	0,167
Claridad	1		0,5	2,5	41,667	0,417
Voz	1	0,5		2,5	41,667	0,417
	TOTAL			6	100	1

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio.

Tabla 9

Ponderación opciones con cada criterio

FLUIDEZ	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
	TOTAL		3	100
CLARIDAD	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
	TOTAL		3	100
VOZ	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
	TOTAL		3	100

De acuerdo a la Tabla 10 la opción 2 (TTS Google) es la que mejor que cumple con los criterios establecidos para el sub módulo *Text to speech*.

Tabla 10*Selección de concepto submódulo Text to speech*

	Fluidez	Claridad	Voz	TOTAL
Opción 1	0,06	0,14	0,14	0,33
Opción 2	0,11	0,28	0,28	0,67
TOTAL				1

3.9.1.3. Submódulo Sistema háptico

Para el sub módulo Sistema háptico se definen los siguientes criterios:

- Ensamble
- Interacción
- Estética

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 11*Ponderación de criterios Sub-Módulo Sistema háptico*

	Ensamble	Interacción	Estética	$\Sigma+1$	%	1
Ensamble		0.5	0	1.5	25.000	0.250
Interacción	0.5		1	2.5	41.667	0.417
Estética	1	0		2	33.333	0.333
TOTAL				6	100	1

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio.

Tabla 12*Ponderación opciones con cada criterio*

Ensamble	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Interacción	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Estética	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 13 la opción 2 (Sensor piezoeléctrico) es la que mejor que cumple con los criterios establecidos para el sub módulo Sistema háptico

Tabla 13*Selección de concepto submódulo Sistema háptico*

	Ensamble	Interacción	Estética	TOTAL
Concepto 1	0.083	0.139	0.11	0.333
Concepto 2	0.167	0.278	0.22	0.667
		TOTAL		1.000

3.9.1.4. Submódulo Máquina de estados

Para el sub módulo Máquina de estado se definen los siguientes criterios:

- Complejidad de programación
- Consumo computacional
- Aplicación

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 14*Ponderación de criterios submódulo máquina de estados*

	Complejidad	C. computacional	Aplicación	$\Sigma+1$	%	1
Complejidad		0	0,5	1,5	25,000	0,250
C. computacional	1		0,5	2,5	41,667	0,417
Aplicación	0,5	0,5		2	33,333	0,333
				6	100	1

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 15 Ponderación opciones con cada criterio*Ponderación opciones con cada criterio*

Complejidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

CONTINÚA

C. computacional	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Aplicación	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 16 la opción 2 (Máquina de estados simple en python) es la que mejor que cumple con los criterios establecidos para el sub módulo Máquina de estados

Tabla 16

Selección de concepto

	Complejidad	C. Computacional	Aplicación	TOTAL
Opción 1	0,06	0,14	0,14	0,33
Opción 2	0,11	0,28	0,28	0,67
TOTAL				1

3.9.2. Módulo Visión Artificial

3.9.2.1. Submódulo Detección de rostros

Para el submódulo detección de rostros se definen los siguientes criterios:

- Rapidez
- Aplicación
- Precisión

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 17

Ponderación de criterios submódulo detección de rostro

	Rapidez	Aplicación	Precisión	$\Sigma+1$	%	1
Rapidez		0	0,5	1,5	25,000	0,250
Aplicación	1		0,5	2,5	41,667	0,417
Precisión	0,5	0,5		2	33,333	0,333
				6	100	1

Tabla 18*Ponderación opciones con cada criterio*

RAPIDEZ	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,17
Opción 2	1		0,5	2,5	41,67	0,42
Opción 3	1	0,5		2,5	41,67	0,42
TOTAL						6
Opción 1		0	0	1	16,67	0,17
Opción 2	1		1	3	50,00	0,50
Opción 3	1	0		2	33,33	0,33
TOTAL						6
PRESICIÓN	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,17
Opción 2	1		0,5	2,5	41,67	0,42
Opción 3	1	0,5		2,5	41,67	0,42
TOTAL						6

De acuerdo a la Tabla 19 se elige la opción 2 (Reconocimiento de rostros por DLIB)

Tabla 19*Selección de concepto*

	Rapidez	Aplicación	Precisión	TOTAL	%
Opción 1	0,04	0,07	0,06	0,17	16,67
Opción 2	0,10	0,21	0,14	0,45	45,14
Opción 3	0,10	0,14	0,14	0,38	38,19
				1,00	100,00

3.9.3. Módulo Movimiento

Para el módulo movimiento se definen los siguientes criterios:

- Costo
- Facilidad de fabricación
- Tamaño
- Facilidad de ensamble

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 20*Ponderación de criterios módulo movimiento*

	Costo	Facilidad de fabricación	Tamaño	Facilidad de ensamble	$\Sigma+1$	%
Costo		1	0,5	1	3,5	35
Facilidad de fabricación	0		1	0,5	2,5	25
Tamaño	0,5	0		0	1,5	15
Facilidad de ensamble	0	0,5	1		2,5	25
TOTAL					10	100

3.9.4. Submódulo Mecanismo Cuello

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 21*Ponderación opciones mecanismo cuello con cada criterio*

COSTO	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,17
Opción 2	1		0	2	33,33	0,33
Opción 3	1	1		3	50	0,5
TOTAL					6	100
F. FABRICACIÓN	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,167
Opción 2	1		0,5	2,5	41,67	0,417
Opción 3	1	0,5		2,5	41,67	0,417
					6	100
TAMAÑO	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,167
Opción 2	1		0	2	33,33	0,333
Opción 3	1	1		3	50	0,5
					6	100
F. ENSAMBLE	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	%	
Opción 1		0	0	1	16,67	0,167
Opción 2	1		0,5	2,5	41,67	0,417
Opción 3	1	0,5		2,5	41,67	0,417
					6	100

De acuerdo a la Tabla 22 la opción 3 es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 22*Selección de concepto*

	Costo	facilidad de fabricación	Tamaño	Facilidad de ensamble	
Opción 1	0,058	0,042	0,025	0,042	0,167
Opción 2	0,117	0,104	0,050	0,083	0,354
Opción 3	0,175	0,104	0,075	0,125	0,479
					1

3.9.5. Submódulo Mecanismo Pies

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 23*Ponderación opciones mecanismo pie con criterio cada criterio*

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL	3	100		
F. de fabricación	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Tamaño	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
F. de ensamble	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 24 la opción 2 (Acople directo) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 24*Selección de concepto*

Matriz de selección	Costo	Facilidad de fabricación	Tamaño	Facilidad de ensamble	TOTAL
Concepto 1	0,117	0,125	0,05	0,125	0,417
Concepto 2	0,233	0,125	0,1	0,125	0,583

3.9.6. Submódulo Mecanismo Cejas

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 25

Ponderación opciones mecanismo cejas con cada criterio

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Facilidad de fabricación	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Tamaño	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Facilidad de ensamble	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0,5	1,5	33,333
Opción 2	0,5		1,5	66,667
	3	100		

De acuerdo a la Tabla 26 la opción 2 (Acople directo) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 26

Selección de concepto

Matriz de selección	Costo	Facilidad de fabricación	Tamaño	Facilidad de ensamble	TOTAL
Concepto 1	0,117	0,083	0,05	0,083	0,333
Concepto 2	0,233	0,167	0,1	0,167	0,667

3.9.7. Módulo Control

Para el módulo movimiento se definen los siguientes criterios:

- Costo reducido
- Disponibilidad en el mercado

- Conexión

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 27

Ponderación de criterios Módulo movimiento

	Costo	Disponibilidad en el mercador	Conexión	$\Sigma+1$	%	1
Costo		0	0	1	16,667	0,167
Disponibilidad en el mercado	1		0,5	2,5	41,667	0,417
Conexión	1	0,5		2,5	41,667	0,417
				6	100	1

3.9.8. Submódulo Mando

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 28

Ponderación opciones de mando con criterio costo reducido

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Disponibilidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Conexión	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 29 la opción 2 (Control Genius) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 29*Selección de concepto*

Matriz de selección	Costo	Disponibilidad en el mercador	Conexión	TOTAL
Concepto 1	0,056	0,139	0,139	0,333
Concepto 2	0,111	0,278	0,278	0,667

3.9.8.1. *Submódulo Teclado*

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 30*Ponderación opciones de teclado con criterio costo reducido*

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Disponibilidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Conexión	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 31 la opción 1 (Teclado QWERTY) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 31*Selección de concepto*

Matriz de selección	Costo	Disponibilidad en el mercador	Conexión	TOTAL
Concepto 1	0,111	0,278	0,278	0,667
Concepto 2	0,056	0,139	0,139	0,333

3.9.9. *Submódulo Tarjeta Controladora*

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 32*Ponderación opciones de tarjeta controladora con cada criterio*

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Disponibilidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Conexión	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 33 la opción 1(Arduino Mega) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el módulo movimiento.

Tabla 33*Selección de concepto*

Matriz de selección	Costo	Disponibilidad en el mercador	Conexión	TOTAL
Concepto 1	0,111	0,278	0,278	0,667
Concepto 2	0,056	0,139	0,139	0,333

3.9.1. Módulo Estructura

3.9.1.1. Submódulo Material

Para el sub módulo material se definen los siguientes criterios:

- Costo
- Durabilidad
- Facilidad de impresión

Ahora se realiza la ponderación de cada criterio como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 34

Ponderación opciones de tarjeta controladora con criterio costo reducido

	Costo	Durabilidad	Facilidad de impresión	$\Sigma+1$	%	1
Costo		0.5	0	1.5	25.000	0.250
Durabilidad	0.5		0.5	2	33.333	0.333
Facilidad de impresión	1	0.5		2.5	41.667	0.417
TOTAL				6	100	1

Ahora comparamos los conceptos con cada criterio

Tabla 35

Ponderación opciones con cada criterio

Costo	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
Durabilidad	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100
F. impresión	Opción 1	Opción 2	$\Sigma+1$	%
Opción 1		0	1	33,333
Opción 2	1		2	66,667
TOTAL			3	100

De acuerdo a la Tabla 36 la opción 2 (Sensor piezoeléctrico) es la que mejor cumple con los criterios establecidos para el sub módulo Sistema háptico

Tabla 36

Selección de concepto

	Costo	Durabilidad	Facilidad de impresión	TOTAL
Concepto 1	0.083	0.111	0.13888889	0.333
Concepto 2	0.167	0.222	0.27777778	0.667
TOTAL				1.000

3.10. Concepto final

Tabla 37

Concepto final para el diseño

CONCEPTO FINAL		
Módulo	Submódulo	Concepto Final
Interacción	Text to Speech	TTS Google
	Chatbot	Chatterbox
	Pantalla	Nextion 7"
	Sistema Háptico	Sensores piezoeléctricos
	Máquina de estados	Máquina simple de python
	Expresiones	Feliz, triste, enojado, sorprendido, dudoso
Visión Artificial	Detección de rostros	DLIB (HOG y SVM lineal)
	Detección de colores	Opencv (Código QR)
Movimiento	Mecanismo Cuello	Mecanismo cuello 3 DOF
	Mecanismo pies	Mecanismo acople directo
	Mecanismo cejas	Mecanismo acople directo
	Motores	Servomotor
Control	Joystick	Genius MaxFire Grandias
	Teclado	QWERT
	HMI	Normas GEDIS
	Tarjeta controladora	SSC-32 y Arduino
Estructura	Material	PLA Pro
	Dimensiones	
Enseñanza	Niños de 2 - 3 años	Números del 1-5 Juegos: Identificación de números Asociación número de dedos con número Colores primarios Identificación de colores de acuerdo a la mano Identificación de color de tarjetas
	Niños de 4 -5 años	Números del 1-5 Juegos: Identificación de número y color Asociación cantidades con número Colores primarios Identificación de colores de acuerdo a la mano Identificación de color de tarjetas

3.11. Diseño y análisis general

3.11.1. Diseño mecánico

3.11.1.1. Cálculo Torques motores

Para el cálculo de los torques se debe sacar la cinemática directa del robot y datos conocidos.

Algunos datos se obtienen mediante la simulación en Fusion 360.

Longitud centro de un eslabón a otro

$$l_1 = 21.3 \text{ [mm]} = 0.0213 \text{ [m]}$$

$$l_2 = 37 \text{ [mm]} = 0.037 \text{ [m]}$$

$$l_3 = 51 \text{ [mm]} = 0.051 \text{ [m]}$$

$$l_{2c} = 51 \text{ [mm]} = 0.051 \text{ [m]}$$

$$l_{3c} = 35 \text{ [mm]} = 0.035 \text{ [m]}$$

Masas Eslabones

$$m_{e1} = 87.74 \text{ [g]} = 0.08774 \text{ [kg]}$$

$$m_{e2} = 66.90 \text{ [g]} = 0.0669 \text{ [kg]}$$

$$m_{e3} = 526.519 \text{ [g]} = 0.52652 \text{ [kg]}$$

Cinemática Robot

Para obtener la cinemática directa del robot usaremos Denavit-Hartenberg, colocando primero los ejes de acuerdo a las reglas y obtenemos sus parámetros. Como se observa en la Figura 35.

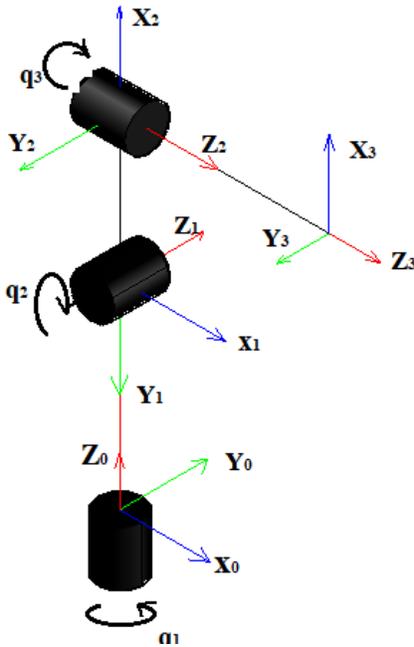


Figura 35. Diagrama juntas y ejes Robot

Tabla 38

Parámetros de Denavit-Hartenberg

	Θ	D	a	α
0H_1	q_1	l1	0	-90
1H_2	q_2-90	0	l2	90
2H_3	q_3	l3	0	0

Matriz de Denavit-Hartenberg (4x4)

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

$${}^0H_3 = [$$

$$\begin{bmatrix} \cos(q_1)\sin(q_2)\cos(q_3) - \sin(q_1)\sin(q_3) & -\sin(q_1)\cos(q_3) - \cos(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) \\ \cos(q_1)\sin(q_3) + \sin(q_1)\sin(q_2)\cos(q_3) & \cos(q_1)\cos(q_3) - \sin(q_1)\sin(q_2)\sin(q_3) \\ \cos(q_2)\cos(q_3) & -\cos(q_2)\sin(q_3) \\ 0 & 0 \\ -\cos(q_1)\cos(q_2) & l_2\cos(q_1)\cos(q_2) - l_3\cos(q_1)\cos(q_2) \\ -\sin(q_1)\cos(q_2) & l_2\sin(q_1)\cos(q_2) - l_3\sin(q_1)\cos(q_2) \\ \sin(q_2) & l_1 + l_2\sin(q_2) + l_3\sin(q_2) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Obtenida la cinemática directa se procederá a obtener el torque necesario de los motores a través del método de Euler – Lagrange, donde a partir de las matrices de DH se obtendrá el Jacobiano de cada eslabón

Jacobiano

Para una junta rotacional

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

J1
n=1
i=1

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

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

$$J2 = \begin{bmatrix} -l2\sin(q1)\cos(q2) & l2\cos(q1)\cos(q2) & 0 \\ l2\cos(q1)\cos(q2) & l2\sin(q1)\cos(q2) & 0 \\ 0 & -l2\sin(q2) & 0 \\ 0 & -\sin(q1) & 0 \\ 0 & \cos(q1) & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J3 = \begin{bmatrix} -l2\sin(q1)\cos(q2) + l3\sin(q1)\cos(q2) & \cos(q1)[l2\cos(q2) + l3\cos(q2)] \\ l2\cos(q1)\cos(q2) - l3\cos(q1)\cos(q2) & \sin(q1)[l2\cos(q2) + l3\cos(q2)] \\ 0 & l3\sin(q2) - l2\sin(q2) \\ 0 & -\sin(q1) \\ 0 & \cos(q1) \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

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

Energía Cinética

$$k = kw_1 + kw_2 + kw_3$$

$$Kt = \frac{1}{2}w_1^T I_1 w_1 + \frac{1}{2}w_2^T I_2 w_2 + \frac{1}{2}w_3^T I_3 w_3 \quad (3)$$

$$w_n = {}^oR_n J_3 \dot{q} \quad (4)$$

Energía Potencial

$$V_n = W_n h_n \quad (5)$$

$$V = V_1 + V_2$$

Con el jacobiano calculamos las velocidades angulares y la energía cinética, para la energía potencial necesitamos el peso de cada eslabón y la altura con respecto a la referencia.

Calculamos el Lagrangiano:

$$L = K - V \quad (6)$$

K: Energía cinética

V: Energía potencial

Y finalmente obtenemos el valor del torque:

$$\tau_n = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_n} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_n} \quad (7)$$

Para realizar los cálculos usaremos el software Matlab elaborando un script

Donde los valores de la inercia obtenemos del software Fusion360 estableciendo las características del material de cada pieza.

Inercia Eslabón 1 [m²]

$E1 = 1.0e-03 *$

0.0946 0.0109 0.0059

0.0109 0.1029 -0.0128

0.0059 -0.0128 0.0584

Inercia Eslabón 2 [m²]

$E2=1.0e-03 *$

0.2578 -0.0228 -0.0045

-0.0228 0.0762 -0.0397

-0.0045 -0.0397 0.1998

Inercia Eslabón 3 [m²]

0.0056 -0.0001 -0.0000

-0.0001 0.0030 0.0000

-0.0000 0.0000 0.0048

Para el cálculo final se usa el software Matlab, elaborando un script para obtener gráfica de los torques con respecto al ángulo de giro de cada motor como se observa en la Figura 36.

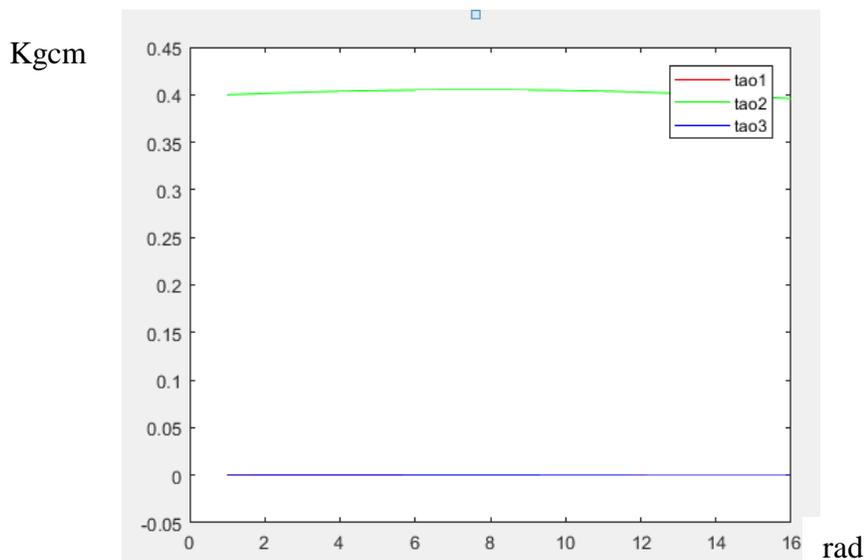


Figura 36. Torque en función de q

$$\begin{aligned}\tau_{1max} &= 0.002 \text{ Kgcm} \\ \tau_{2max} &= 4.14 \text{ Kgcm} \\ \tau_{3max} &= 0.002 \text{ Kgcm}\end{aligned}$$

3.11.2. Análisis Esfuerzos principales

Las simulaciones estáticas fueron realizadas en el software Autodesk Fusion 360, mediante la selección de materiales empleados y con las propiedades mecánicas establecidas por el fabricante.

- Base Robot

Reporte de resultados

▣ MDF Medium Density Fiberboard

Density	8E-07 kg / mm ³
Young's Modulus	2400 MPa
Poisson's Ratio	0.25
Yield Strength	7.72 MPa
Ultimate Tensile Strength	7.72 MPa
Thermal Conductivity	1.2E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1E-07 / C
Specific Heat	1300 J / (kg C)

Figura 37. Reporte de resultados – Materiales – Base Robot
Fuente: (Autodesk, 2018)

☐ Results

☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	15	15
Stress		
Von Mises	4.781E-12 MPa	0.1879 MPa
1st Principal	-0.03874 MPa	0.1389 MPa
3rd Principal	-0.1905 MPa	0.009109 MPa
Normal XX	-0.172 MPa	0.1238 MPa
Normal YY	-0.1902 MPa	0.1387 MPa
Normal ZZ	-0.04103 MPa	0.04103 MPa
Shear XY	-0.05163 MPa	0.04158 MPa
Shear YZ	-0.03529 MPa	0.02944 MPa
Shear ZX	-0.02253 MPa	0.02545 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.1109 mm

Figura 38. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Base Robot
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 38 se observa el esfuerzo máximo soportado por la base es de 0.187 MPa, lo cual garantiza el comportamiento deseado del material.

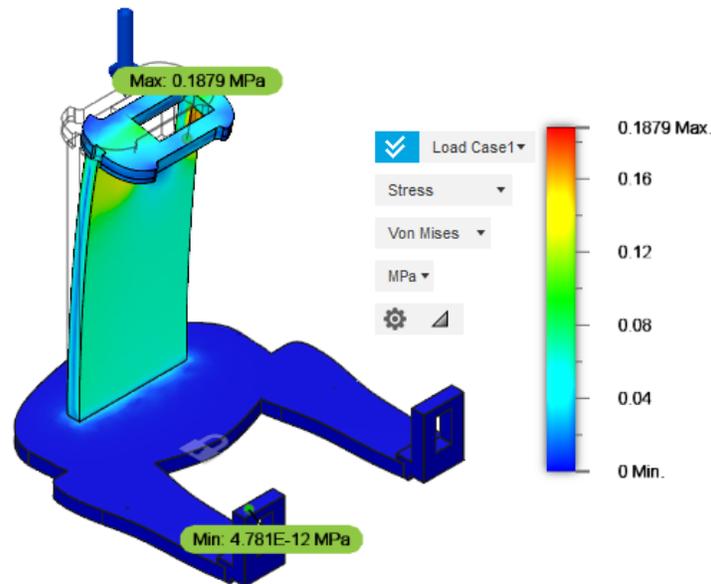


Figura 39. Simulación Esfuerzo Von Mises – Base Robot
Fuente: (Autodesk, 2018)

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	15	15
Stress		
Von Mises	1.2E-15 MPa	0.009147 MPa
1st Principal	-0.003267 MPa	0.007354 MPa
3rd Principal	-0.01291 MPa	0.001502 MPa
Normal XX	-0.007982 MPa	0.006966 MPa
Normal YY	-0.01097 MPa	0.003875 MPa
Normal ZZ	-0.00337 MPa	0.002202 MPa
Shear XY	-0.004231 MPa	0.002871 MPa
Shear YZ	-0.001873 MPa	0.001842 MPa
Shear ZX	-0.001396 MPa	0.001675 MPa
Displacement		
Total	0 mm	3.68E-04 mm

Figura 40. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Base Robot – Micro servos
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 40 se observa que el esfuerzo máximo soportado por la base del robot es de 0.008 MPa en la parte inferior debido al peso de los microservos y los pies. Para el bastidor no se realizan curvas de convergencia debido a que es un material ortotrópico, es decir que sus propiedades mecánicas son únicas e independientes en sus tres direcciones.

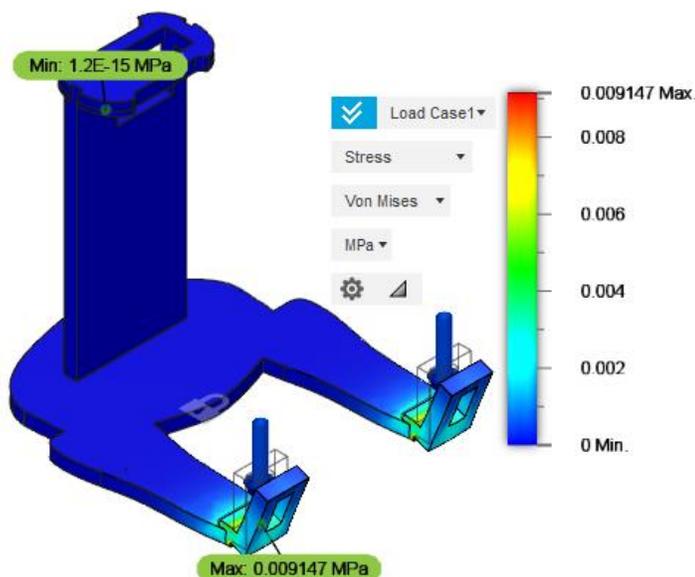


Figura 41. Simulación Esfuerzo Von Mises – Base Robot – Micro servos
Fuente: (Autodesk, 2018)

- Soporte Cabeza

Reporte de resultados

Materials

Component	Material	Safety Factor
Body1	PLA+ Esun orange	Yield Strength
ServoAttacment1 v1:1	ABS Plastic	Yield Strength

ABS Plastic

Density	1.06E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	2240 MPa
Poisson's Ratio	0.38
Yield Strength	20 MPa
Ultimate Tensile Strength	29.6 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1500 J / (kg C)

PLA+ Esun orange

Density	1.24E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	1.3E+06 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength	60 MPa
Ultimate Tensile Strength	65 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1506 J / (kg C)

Figura 42. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cabeza
Fuente: (Autodesk, 2018)

Results

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	15	15
Stress		
Von Mises	2.826E-06 MPa	1.427 MPa
1st Principal	-0.05238 MPa	1.434 MPa
3rd Principal	-0.4978 MPa	0.3706 MPa
Normal XX	-0.2593 MPa	1.138 MPa
Normal YY	-0.2618 MPa	1.183 MPa
Normal ZZ	-0.3445 MPa	1.114 MPa
Shear XY	-0.5717 MPa	0.5855 MPa
Shear YZ	-0.4081 MPa	0.5156 MPa
Shear ZX	-0.4513 MPa	0.4626 MPa
Displacement		
Total	0 mm	4.883E-05 mm

Figura 43. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación - Soporte Cabeza
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 43 se observa que el esfuerzo máximo soportado es de 3.385 MPa debido al peso de todos los componentes del mecanismo de movimiento de cabeza.

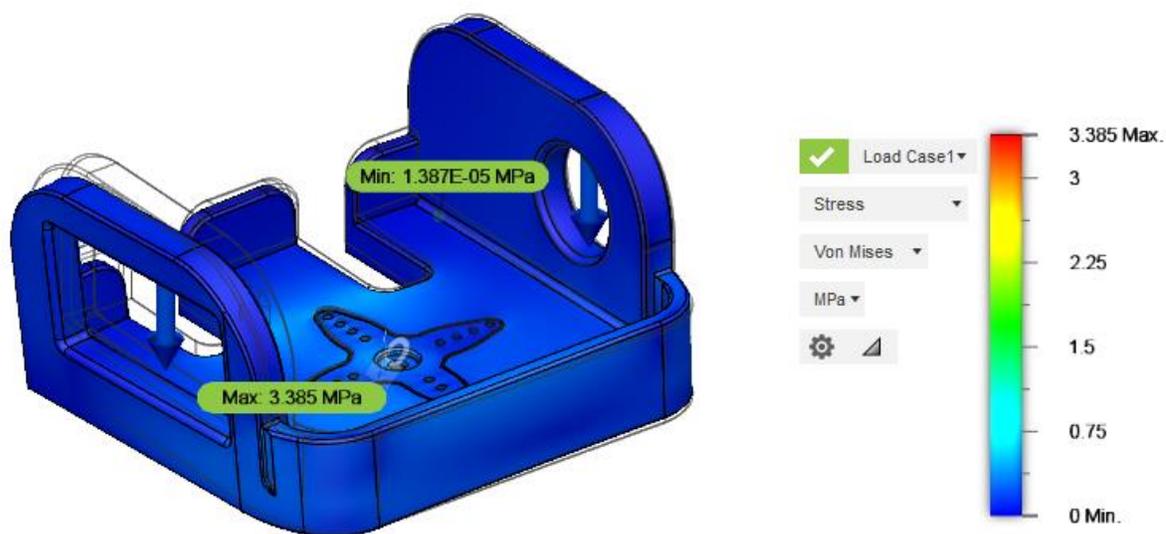


Figura 44. Simulación Esfuerzo Von Mises – Soporte Cabeza
Fuente: (Autodesk, 2018)

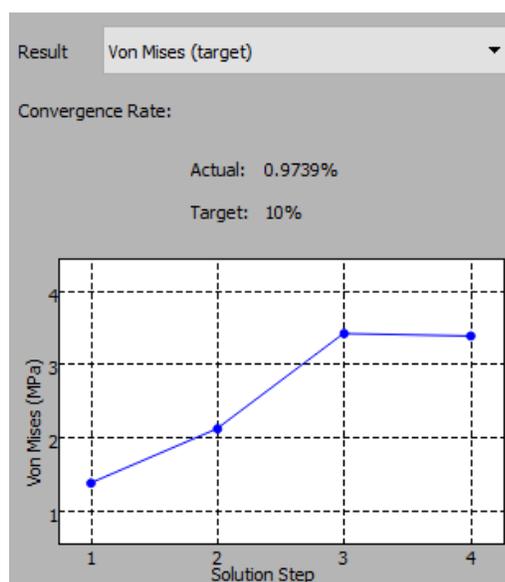


Figura 45. Curva de convergencia – Soporte Cabeza
Fuente: (Autodesk, 2018)

- Soporte servo – Cara

Reporte de resultados

Materials

Component	Material	Safety Factor
Body1	PLA+ Esun orange	Yield Strength
ServoAttacment1 v1:1	ABS Plastic	Yield Strength

ABS Plastic

Density	1.06E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	2240 MPa
Poisson's Ratio	0.38
Yield Strength	20 MPa
Ultimate Tensile Strength	29.6 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1500 J / (kg C)

PLA+ Esun orange

Density	1.24E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	1.3E+06 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength	20 MPa
Ultimate Tensile Strength	29.6 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1506 J / (kg C)

Figura 46. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cara
Fuente: (Autodesk, 2018)

Results

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	2.751	15
Stress		
Von Mises	2.796E-07 MPa	7.269 MPa
1st Principal	-0.8768 MPa	2.964 MPa
3rd Principal	-5.377 MPa	0.7246 MPa
Normal XX	-1.454 MPa	0.7877 MPa
Normal YY	-5.283 MPa	1.487 MPa
Normal ZZ	-1.711 MPa	2.832 MPa
Shear XY	-0.7559 MPa	0.336 MPa
Shear YZ	-0.8409 MPa	1.146 MPa
Shear ZX	-0.5512 MPa	0.5279 MPa
Displacement		
Total	0 mm	1.479E-04 mm

Figura 47. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Soporte Cara
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 47 se observa que el esfuerzo máximo es de 7.268 MPa en la zona de la cruceta del servo debido al peso del servo principal y la carcasa.



Figura 48. Simulación Esfuerzos Von Mises – Soporte Cara
Fuente: (Autodesk, 2018)

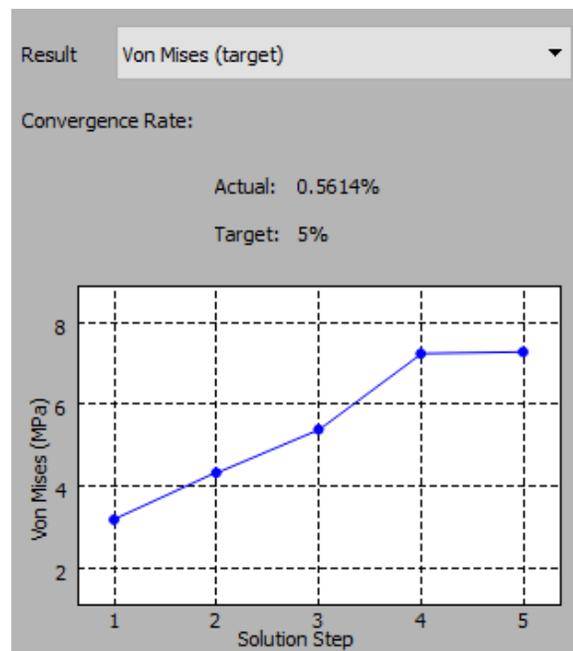


Figura 49. Curva de convergencia – Soporte Cara
Fuente: (Autodesk, 2018)

- Soporte servos – Cejas

☐ Materials

Component	Material	Safety Factor
Body7	PLA+ Esun orange	Yield Strength

☐ PLA+ Esun orange

Density	1.24E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	1.3E+06 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength	20 MPa
Ultimate Tensile Strength	29.6 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1506 J / (kg C)

Figura 50. Reporte de resultados – Materiales – Soporte Cejas
Fuente: (Autodesk, 2018)

☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	3.895	15
Stress		
Von Mises	1.235E-07 MPa	5.134 MPa
1st Principal	-1.388 MPa	5.413 MPa
3rd Principal	-5.73 MPa	1.421 MPa
Normal XX	-3.738 MPa	3.124 MPa
Normal YY	-4.047 MPa	3.223 MPa
Normal ZZ	-2.694 MPa	3.665 MPa
Shear XY	-2.367 MPa	2.224 MPa
Shear YZ	-1.943 MPa	2.668 MPa
Shear ZX	-2.08 MPa	2.358 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.001321 mm

Figura 51. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Soporte Cejas
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 51 se observa el esfuerzo máximo soportado de 5.13 MPa debido a la carcasa y los micro servos encargados del movimiento de las cejas.

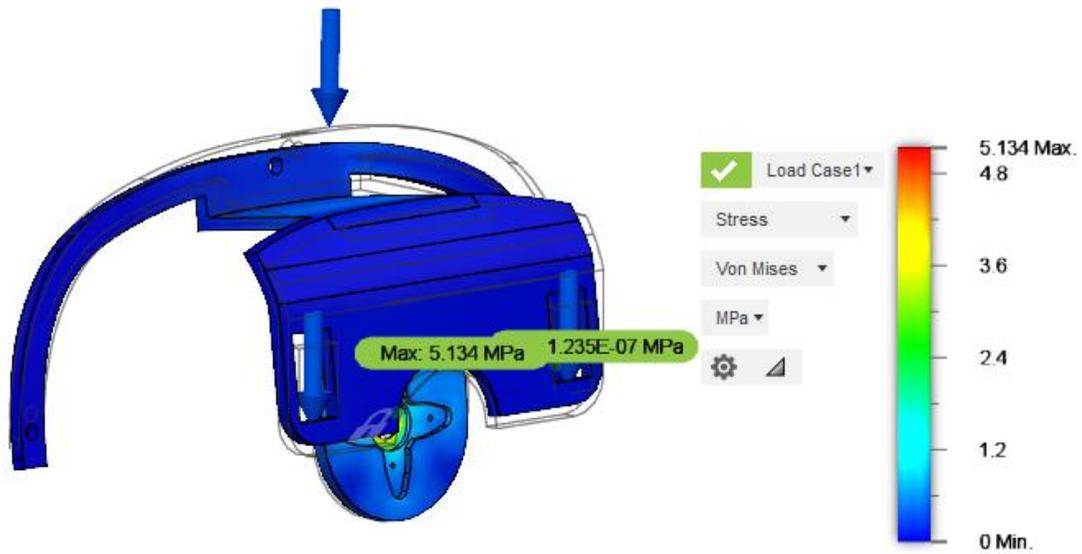


Figura 52. Simulación Esfuerzos Von Mises – Soporte Cejas
Fuente: (Autodesk, 2018)

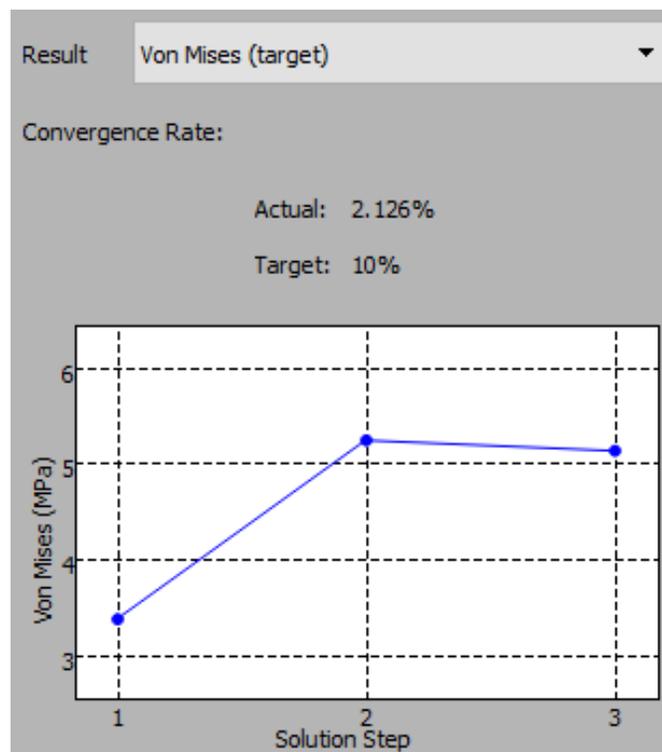


Figura 53. Curva de convergencia – Soporte Cejas
Fuente: (Autodesk, 2018)

- Carcasa Frontal Cabeza

Materials

Component	Material	Safety Factor
Body1	PLA+ Esun White	Yield Strength

PLA+ Esun White

Density	1.24E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	1.3E+06 MPa
Poisson's Ratio	0.33
Yield Strength	20 MPa
Ultimate Tensile Strength	29.6 MPa
Thermal Conductivity	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	8.57E-05 / C
Specific Heat	1506 J / (kg C)

Figura 54. Reporte de resultados – Materiales – Carcasa Frontal
Fuente: (Autodesk, 2018)

Results

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	15	15
Stress		
Von Mises	1.782E-09 MPa	0.00624 MPa
1st Principal	-4.857E-04 MPa	0.006329 MPa
3rd Principal	-0.003004 MPa	2.53E-04 MPa
Normal XX	-0.002057 MPa	0.001014 MPa
Normal YY	-0.002296 MPa	0.004197 MPa
Normal ZZ	-0.002746 MPa	0.006329 MPa
Shear XY	-0.001106 MPa	6.992E-04 MPa
Shear YZ	-0.002951 MPa	0.002743 MPa
Shear ZX	-8.669E-04 MPa	8.574E-04 MPa
Displacement		
Total	0 mm	2.138E-07 mm

Figura 55. Reporte de resultados – Esfuerzo y Deformación – Carcasa Frontal
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 55 se observan el esfuerzo máximo soportado provocado por la cámara es prácticamente despreciable.

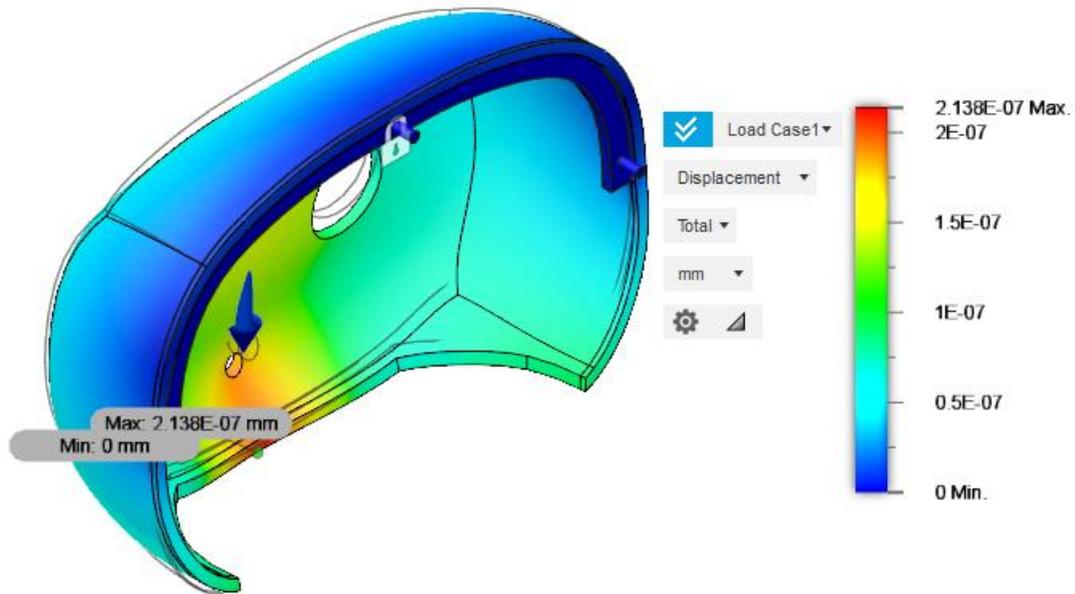


Figura 56. Simulación Esfuerzos Von Mises – Carcasa Frontal
Fuente: (Autodesk, 2018)

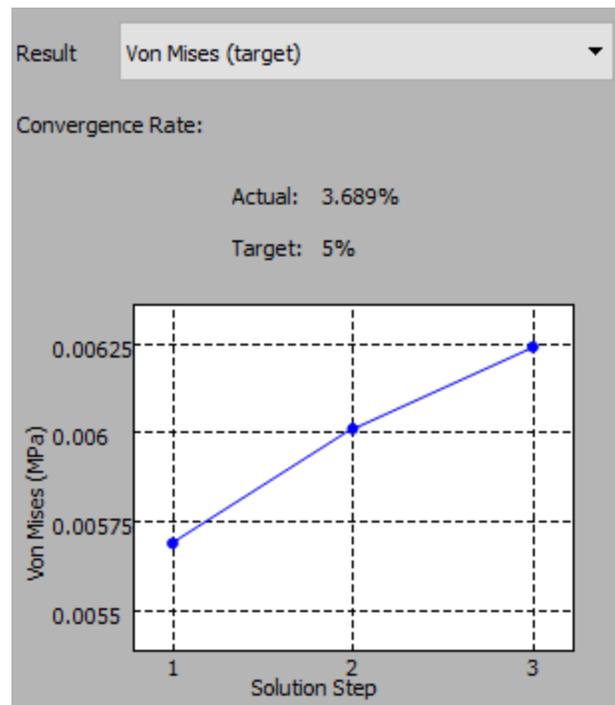


Figura 57. Curva de convergencia – Carcasa Frontal
Fuente: (Autodesk, 2018)

3.11.3. Diseño electrónico

Para el diseño electrónico primero tomaremos en cuenta los elementos que necesitamos, para determinar la conexiones y los pines que se usaran en el Arduino Mega.

Elementos:

- 2 sensores piezoeléctricos
- 4 Led's RGB

Entradas y Salidas:

- 2 entradas analógicas
- 6 Salidas PWM
- Serial Rx
- Serial Tx

Alimentación

- 5V
- Tierra

3.11.3.1. Acondicionamiento sensores

Un sensor piezoeléctrico genera una diferencia de voltaje, por una fuerza mecánica o vibraciones. Y de si se lo usa de manera inversa funciona como una bocina.

El circuito de acondicionamiento que se utilizará es la conexión del sensor a la entrada

analógica y tierra para la lectura del voltaje con una resistencia en paralelo para proteger al Arduino de la corriente generada.

La resistencia recomendada es un $1M\Omega$.

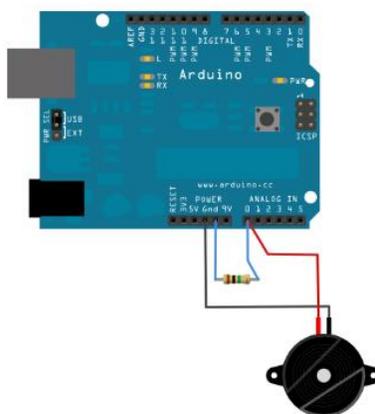


Figura 58. Acondicionamiento sensor piezoeléctrico

Fuente: (Arduino, 2018)

3.11.3.2. Diseño placa

Una vez definidos todos los pines que se usarán en el Arduino, se realiza el diseño de la placa en PCB con el software Proteus.

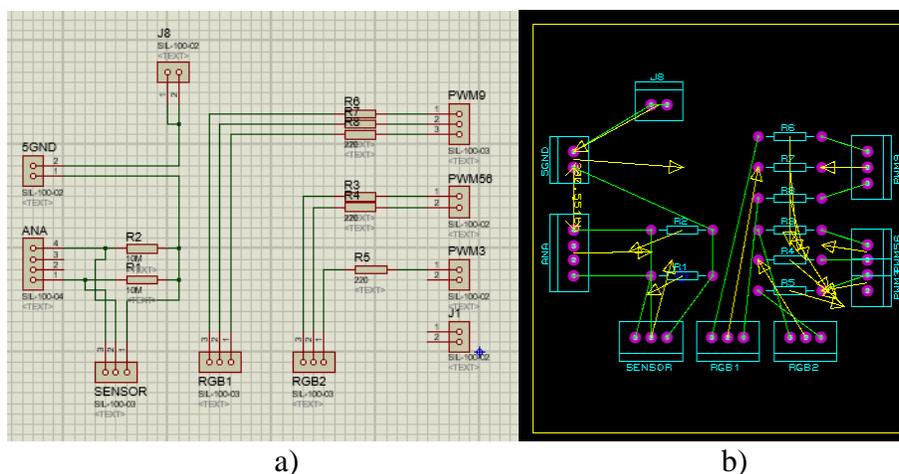


Figura 59. Diseño placa Proteus
a) Vista esquemática b) Diseño PCB

Fuente: (Proteus)

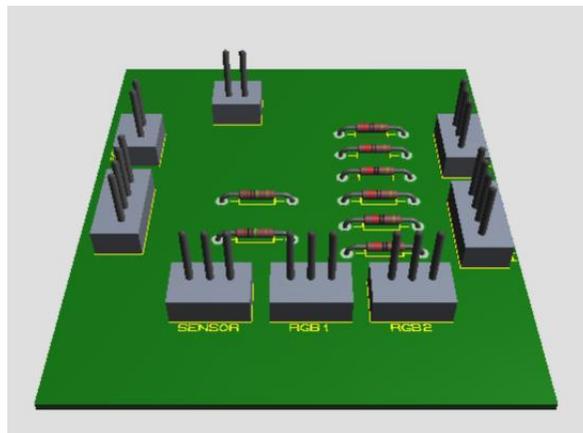


Figura 60. Vista 3D placa diseñada
Fuente: (Proteus)

La placa está diseñada para ubicarse directamente en los pines de la placa de Arduino, con borneras para sujetar los cables y espadines para introducirse en los pines.

3.11.4. Prototipo simulado

Finalmente tenemos el prototipo final simulado, con la selección de conceptos establecidos y con el diseño y análisis general como se observa en el Figura 61.



Figura 61. Prototipo NAR - Simulado
Fuente: (Autodesk, 2018)

En la Figura 62 se puede observar las piezas que está compuesto el robot NAR y en la Tabla 38 con sus nombres correspondientes.

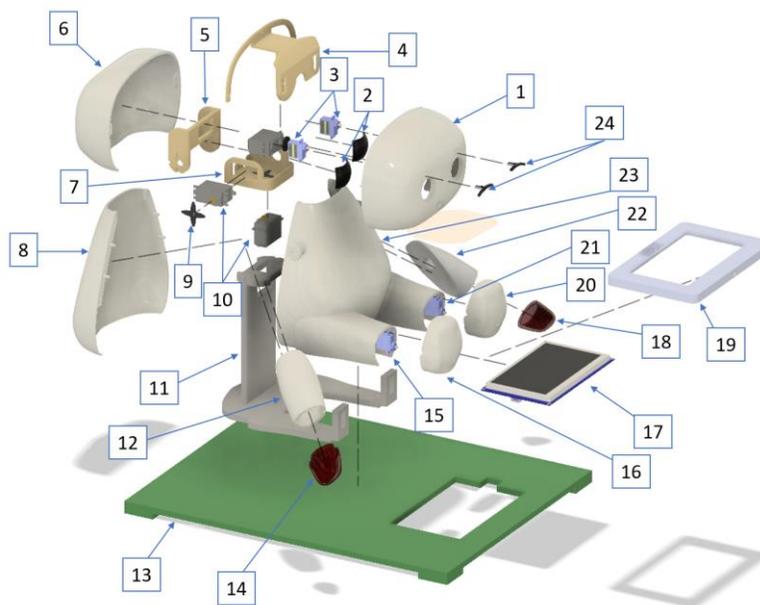


Figura 62. Prototipo NAR

Fuente: (Autodesk, 2018)

Tabla 39

Listado de partes NAR

Número	Parte	Número	Parte
1	Carcasa Frontal Cabeza	13	Base Robot
2	Ojos	14	Mano derecha
3	Micro servos cejas	15	Micro servo pie derecho
4	Soporte cejas	16	Pie derecho
5	Soporte cara	17	Pantalla Nextion Basic 7"
6	Carcasa Posterior cabeza	18	Mano izquierda
7	Soporte Cabeza	19	Carcasa Pantalla Nextion
8	Carcasa Posterior cuerpo	20	Pie izquierdo
9	Cruceta servo	21	Mico servo pie izquierdo
10	Servos principales	22	Brazo izquierdo
11	Base estructura robot	23	Carcasa Frontal cuerpo
12	Brazo derecho	24	Cejas

En la Tabla 39 se observa el número y nombre de la parte del robot NAR mostrada en la Figura 62.

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En el presente capítulo se desarrolla el proceso de construcción de acuerdo al diseño elaborado en el anterior capítulo. Se realiza también las pruebas de funcionamiento mecánico, sistema de interacción y módulo de enseñanza.

4.1. Construcción

4.1.1. Construcción mecánica

Para comenzar con la construcción se imprimirán en 3D las piezas de los mecanismos del cuello y la carcasa en el material seleccionado PLA+ como se muestra en las Figuras 63-67.

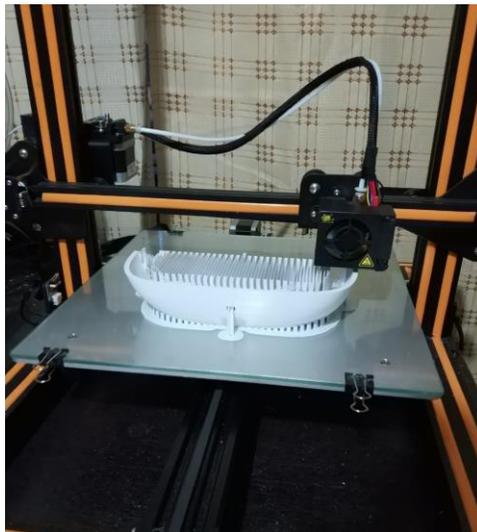


Figura 63. Impresión Carcasa Cabeza Frontal



Figura 64. Partes Impresas



Figura 65. Carcasas Frontales

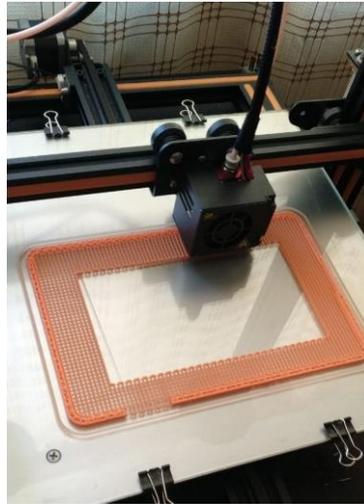


Figura 66. Impresión Carcasa Pantalla Nextion 7”

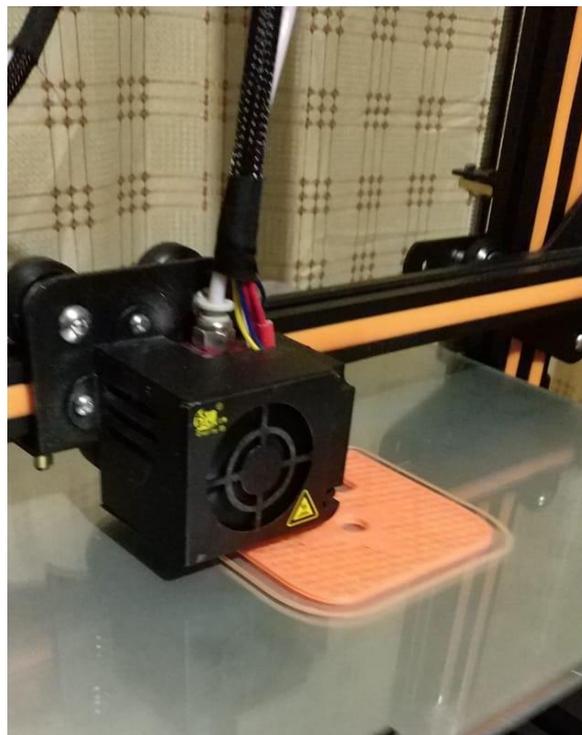
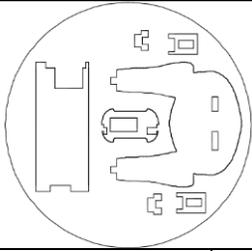


Figura 67. Impresión Soporte Cabeza

Para la construcción de la base se realiza el corte láser del material MDF con las formas de las piezas para su ensamble. Como se observa en la siguiente hoja de procesos.

Tabla 40*Hoja de procesos bastidor robot*

HOJA DE PROCESO							
PROYECTO:	Robot NAR		PLANO N°:	TRABAJO N°: 1	FECHA		
PIEZA:	Bastidor robot		PLANO N°:	HOJA 2 DE 2	2018-08		
MATERIAL:	MDF		DIMENSIONES EN BRUTO: 600x600x9				
REALIZADO POR: Almeida Ricardo - Espinoza Nathaly							
							
FASE	SUBFASE	OPERACION	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	tc min	Control
Corte Láser		1	Enceramos la tabla		Cortadora Láser	-	Visual
		1	Se calienta la máquina			-	Visual
		2	Se corta			20	Visual
		3	Se retira el material			-	Visual

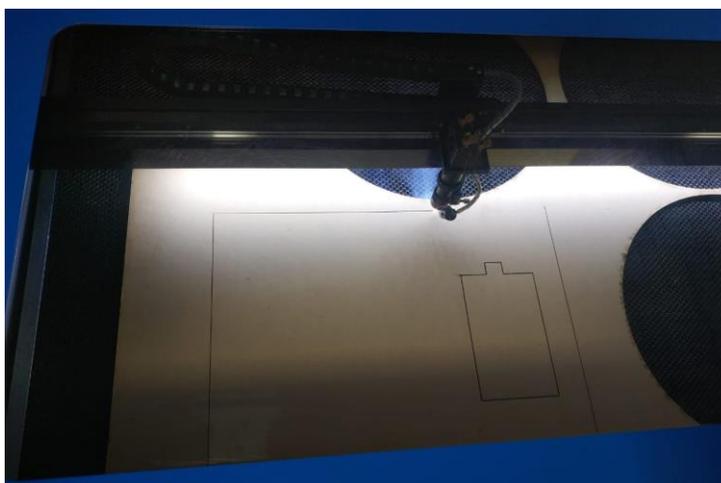


Figura 68. Corte Laser Base NAR

4.1.2. Construcción electrónica

4.1.2.1. Colocación sensores y LED's

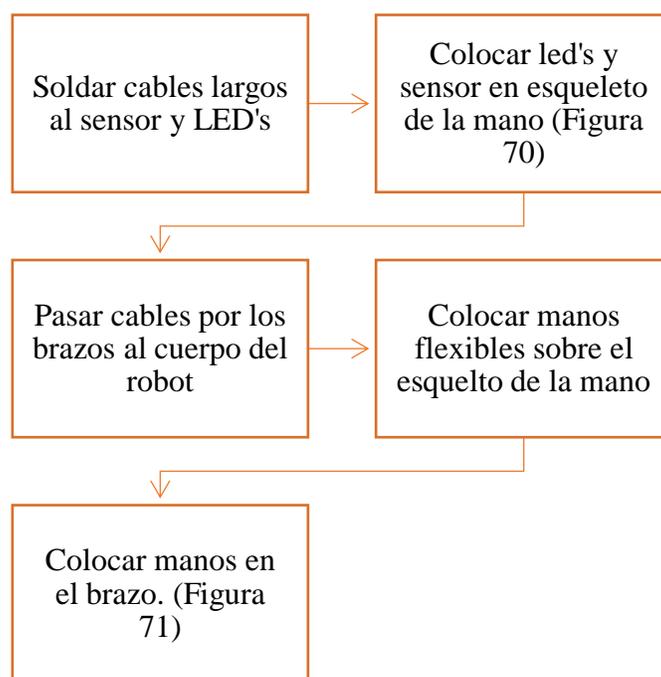


Figura 69. Pasos ensamble sensores y LED's

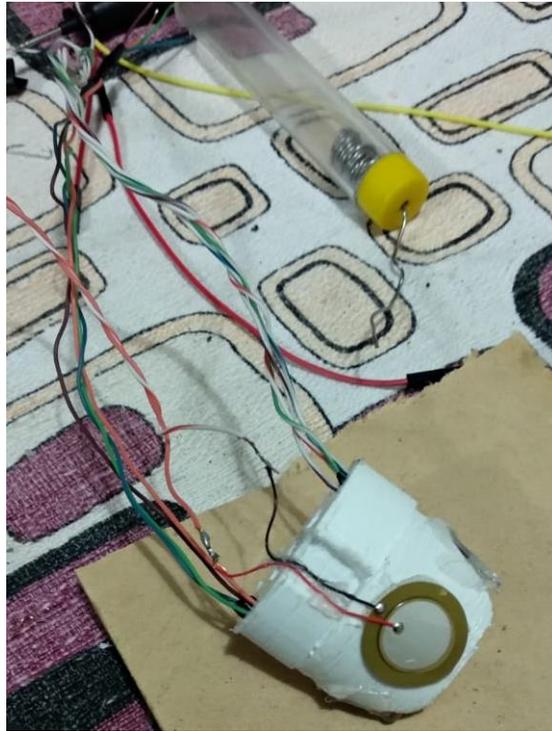


Figura 70. Colocación sensores y led's en esqueleto de mano



Figura 71. Colocación mano flexible en esqueleto y brazo

La placa se realizó de manera manual, como se observa en el siguiente diagrama de flujo

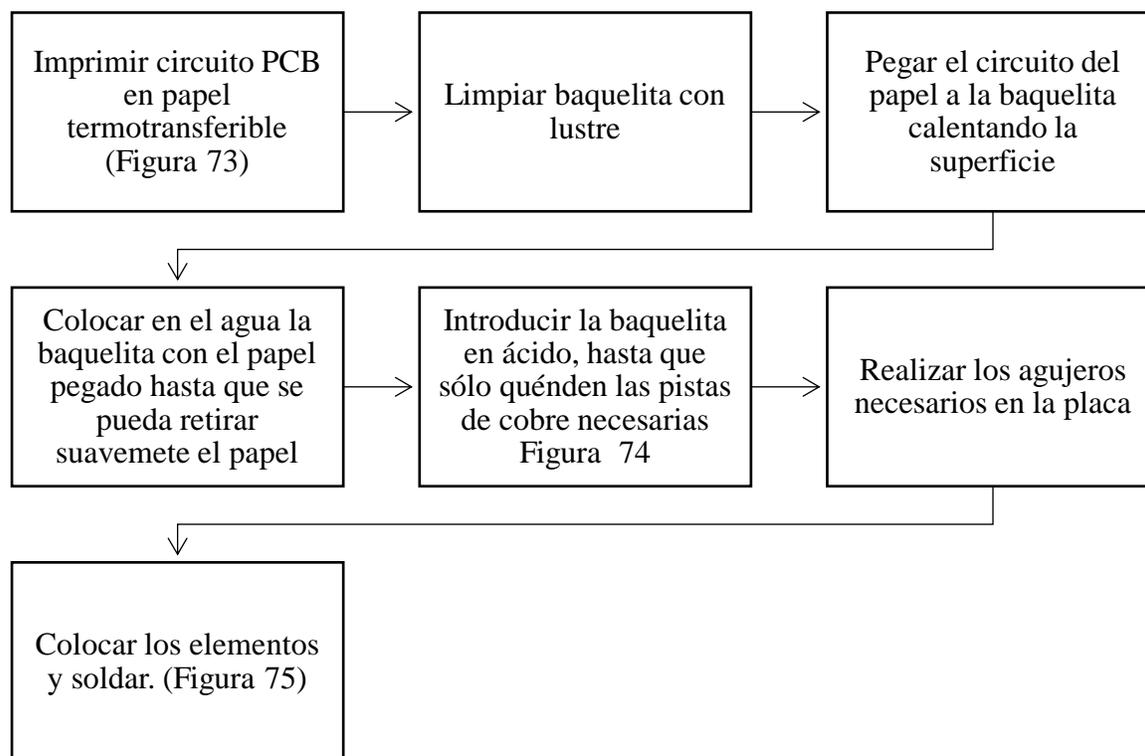


Figura 72. Pasos elaboración placa circuito sensores y led's



Figura 73. Baquelita y circuito impreso en papel termotransferible



Figura 74. Placa en ácido



Figura 75. Placa terminada

4.1.3. Ensamble piezas

Para el ensamble seguimos los pasos del diseño que se visualizan en el siguiente diagrama.

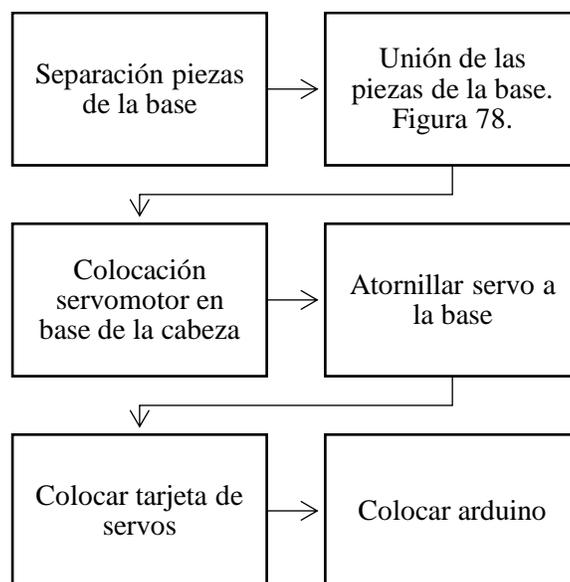


Figura 76. Pasos Ensamble Base

Para el ensamble de la cabeza seguimos los pasos del siguiente diagrama.

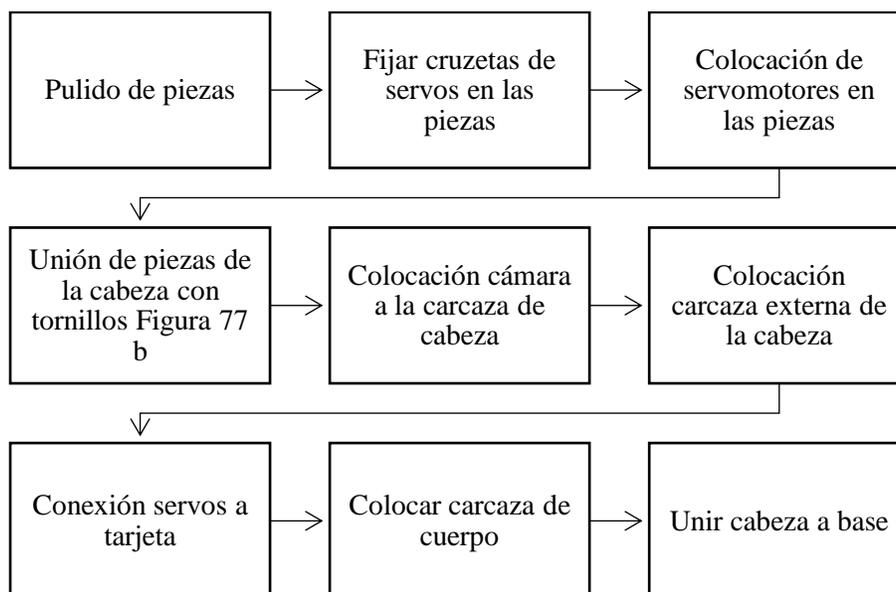


Figura 77. Pasos Ensamble Cabeza



Figura 78. Ensamble Esqueleto
a) Ensamble bastidor, b) Ensamble cabeza

4.1.4. *Software y Programación*

4.1.4.1. *Comunicación*

Para lograr los objetivos del presente proyecto se utiliza la computadora con el software libre ROS en Ubuntu 16.04, el robot, una tarjeta de Arduino, tarjeta SSC32 y una pantalla táctil. En la computadora se encuentra la interfaz de donde se enviará las ordenes al robot para que mueva y emita sonidos, a su vez envía datos para los colores de las manos del robot para la interacción.

Y el robot envía datos de los sensores al Arduino, que enviará los datos a la computadora. También se envía datos sobre los juegos para el aprendizaje al Arduino que envía a la pantalla para dar el tema del juego y si el usuario gana o pierde se envía al Arduino y el Arduino envía a la computadora para que el robot ejecute ciertos comportamientos.

Tal y como se observa en la Figura 79 es la transmisión de los datos durante el proceso de interacción y funcionamiento del robot.

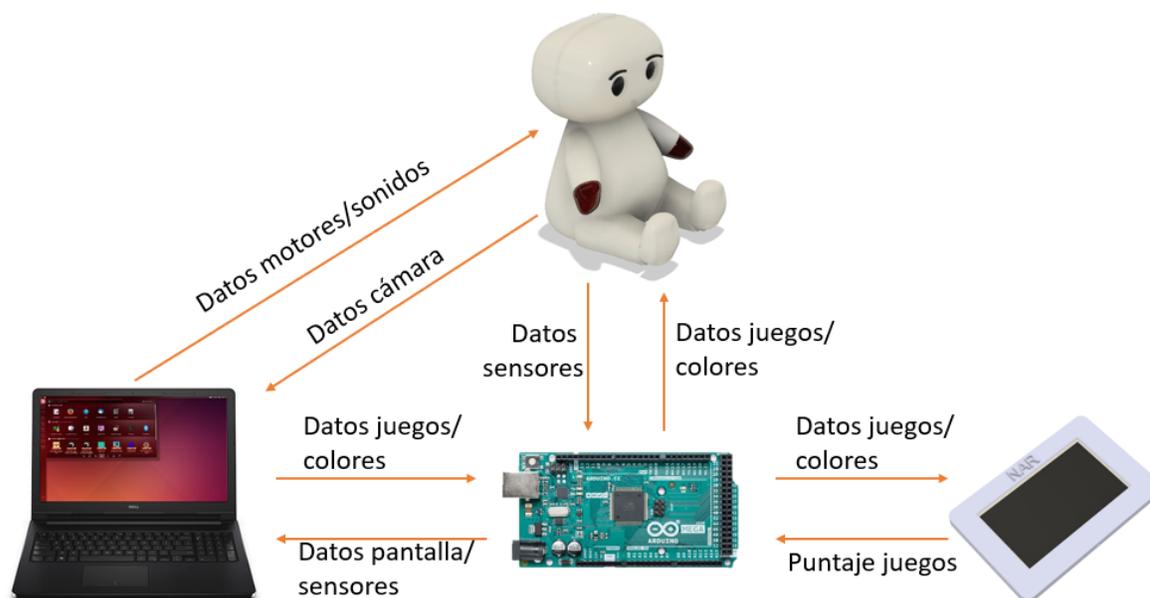


Figura 79. Diagrama de comunicación NAR

4.1.4.2. Programación Funcionamiento

- Detección de colores

Para la detección de colores que se usa en la ventana de operador y para los juegos con los niños en la ventana de usuario. Se lo realiza mediante la lectura de un código QR, que para el nombre de cada color (amarillo, azul y rojo), se genera el código en un generador online.

Se coloca la imagen en frente de la cámara del robot, se escanea la imagen y si existe un código QR verifica que diga amarillo, azul o rojo.

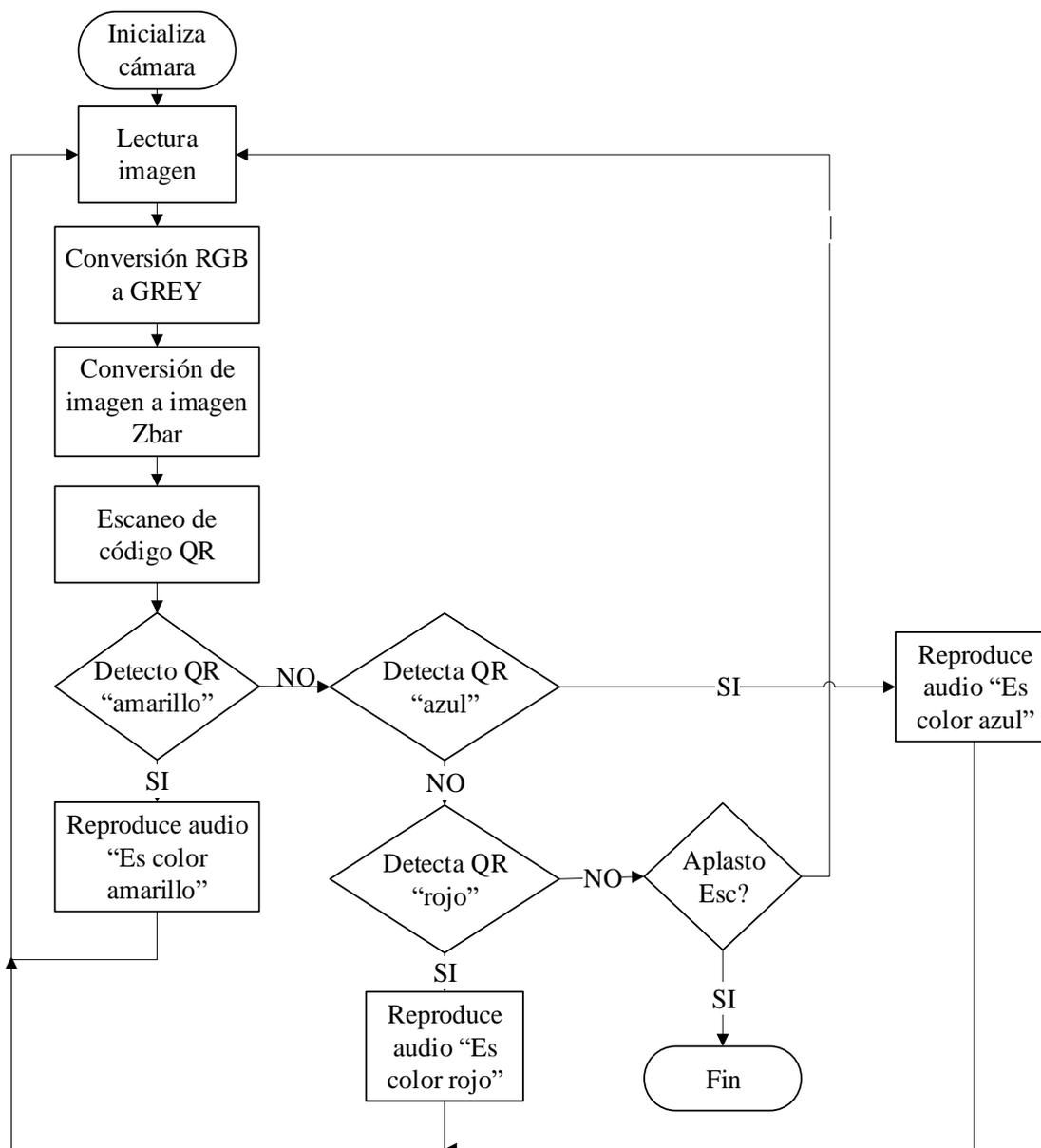


Figura 80. Diagrama de flujo detección de colores

- Detección y seguimiento de rostros

Para la detección y seguimiento de rostro se leen las imágenes capturadas por la cámara y a través de la librería DLIB detecta el rostro y 2 puntos de la cara: fillos externos de los ojos y se calcula el punto medio de ambos.

Se compara el punto medio entre los ojos con el punto medio de la imagen y a través de la cinemática del robot se intenta que los dos puntos concuerden.

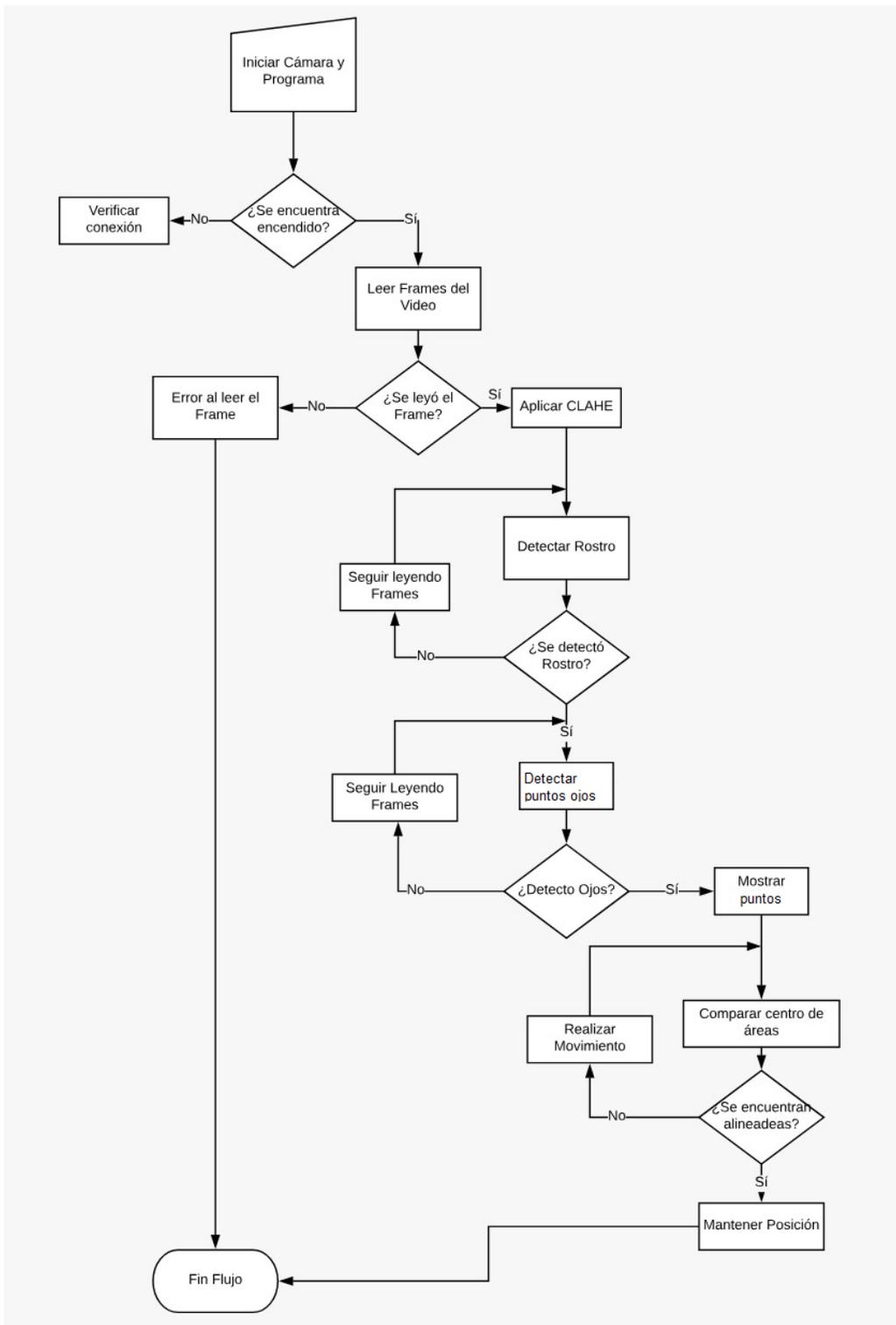


Figura 81. Diagrama de flujo detección y seguimiento de rostros

- Juegos Números

Una vez seleccionado el número que se va a estudiar, se reproduce el video educativo, posteriormente la pantalla muestra el numero seleccionado y dos opciones de juegos acerca del mismo en los cuales la mecánica de juego es la misma, el niño/a debe seleccionar el numero estudiado entre 5 opciones sean estas solas o estén acompañadas de una imagen que haga referencia al número. Si el niño acierta el robot lo felicitara y si se equivoca el robot lo invitara a intentarlo de nuevo.

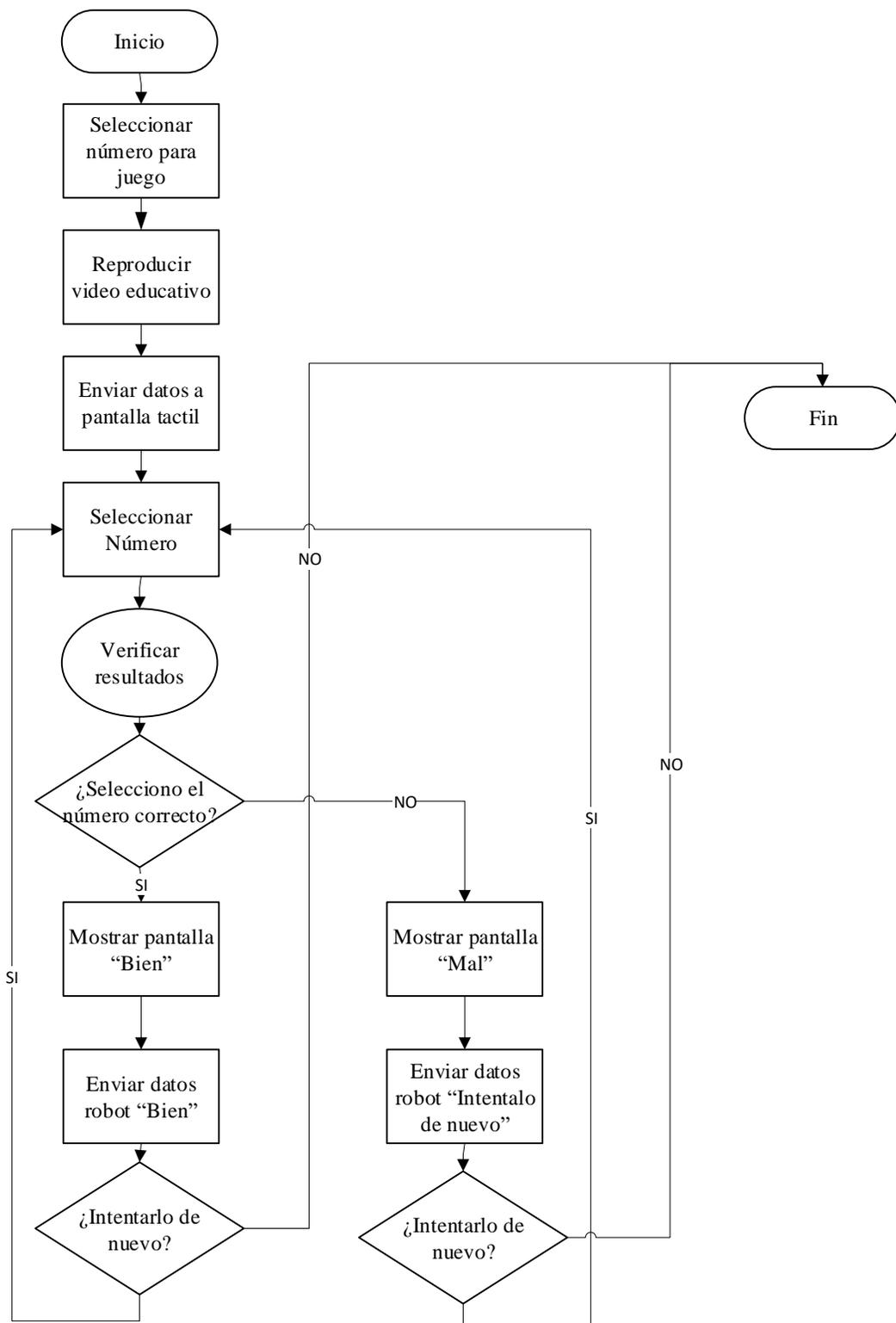


Figura 82. Diagrama de flujo – Juegos Números

- Juegos Colores 1

Una vez seleccionad el color en la ventana de usuario, se debe reproducir el video educativo para posteriormente enviar datos al robot y que este realice juegos con el color deseado, una mano tomara el color correcto y la otra uno incorrecto y el robot invita al niño/a tocar la mano del color estudiado. Si el niño acierta el robot lo felicitará y si se equivoca el robot lo invitará a intentarlo de nuevo.

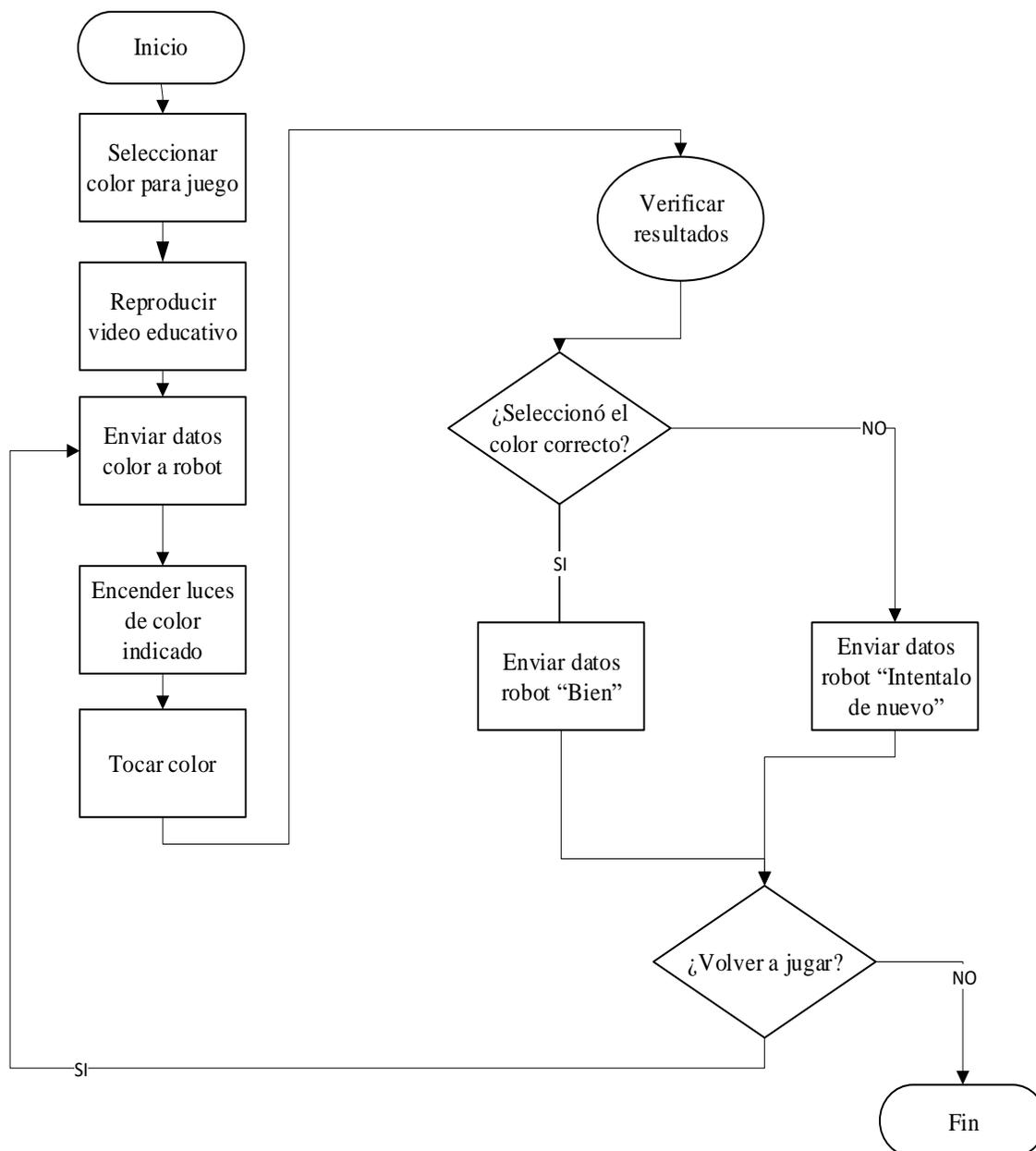


Figura 83. Diagrama de flujo – Juego Colores 1

- Juego Colores 2

Una vez seleccionad el color en la ventana de usuario, se debe reproducir el video educativo para posteriormente enviar datos al robot y que este realice juegos con el color deseado, la cámara

se habilitara y el robot indicara al niño que le muestre una tarjeta del color seleccionado. Si el niño acierta el robot lo felicitará y si se equivoca el robot lo invitará a invitarlo de nuevo.

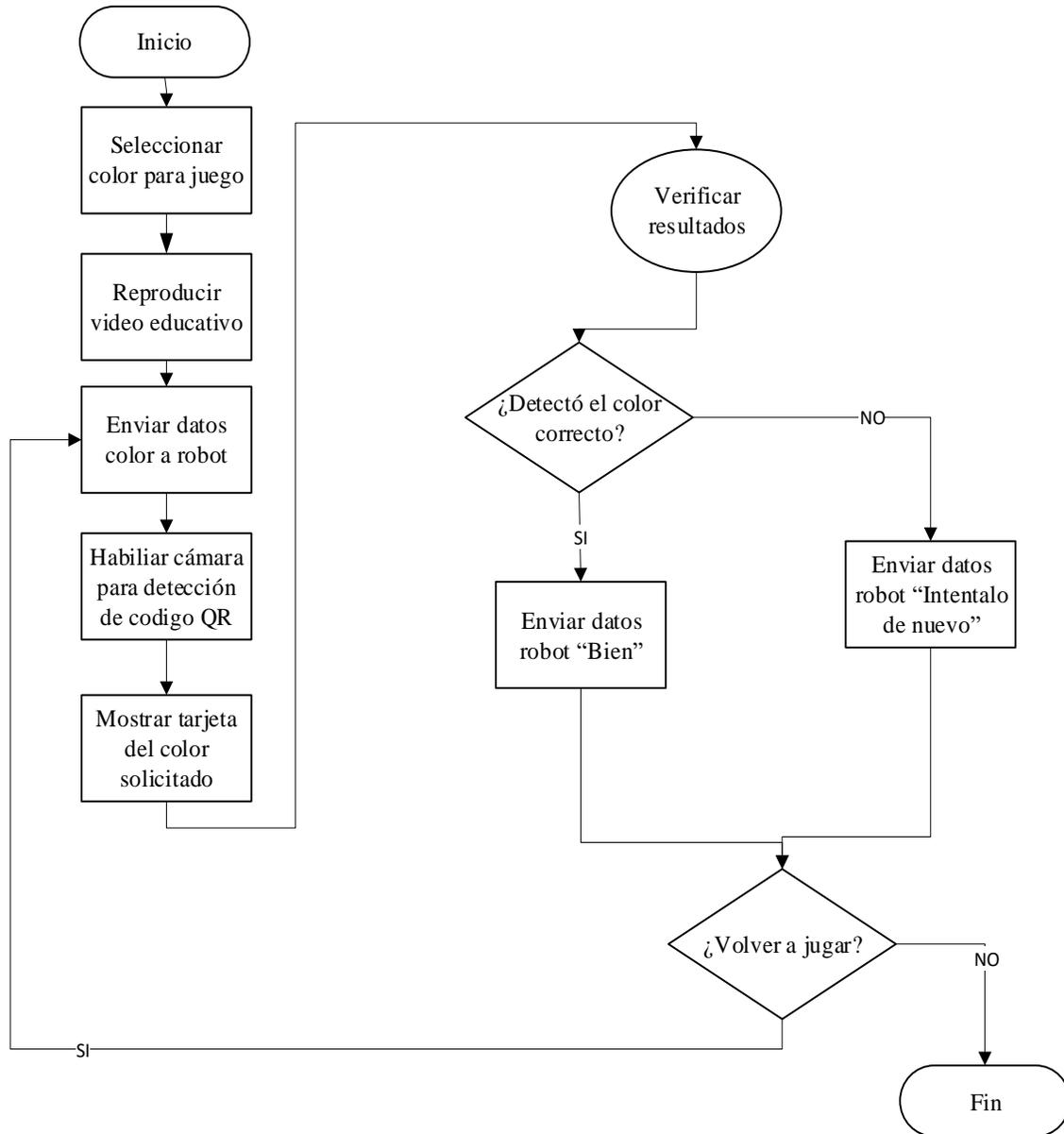


Figura 84. Diagrama de flujo – Juego Colores 2

- Emociones

El diagrama de flujo se repite para las emociones: Feliz, triste, sorprendido, enojado y dudoso.

Los botones se encuentran en la ventana de operador.

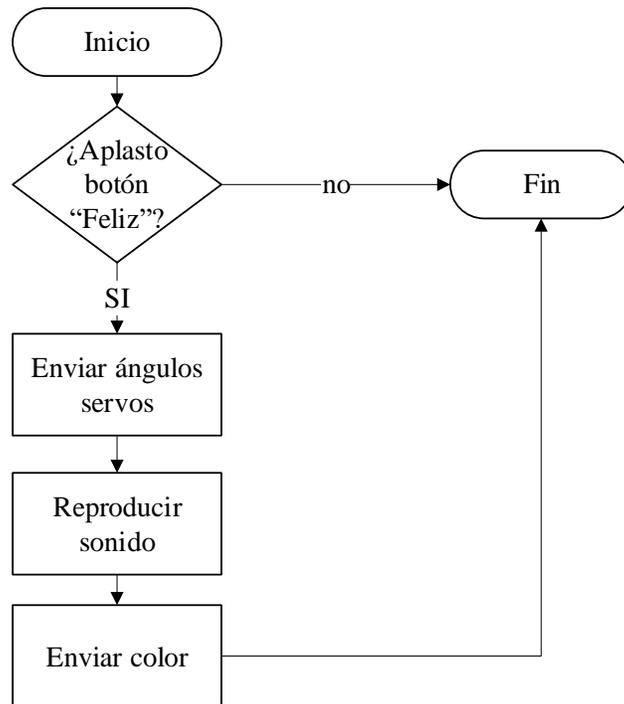


Figura 85. Diagrama de flujo emociones

- HMI

La HMI consta de una ventana principal y varias secundarias. Desde la ventana principal se puede acceder a la ventana Operador, Usuaio, Chatbot y Créditos, presionando los botones que llevan sus nombres. Y para cerrar la ventana se presiona el botón salir



Figura 86. Ventana principal HMI

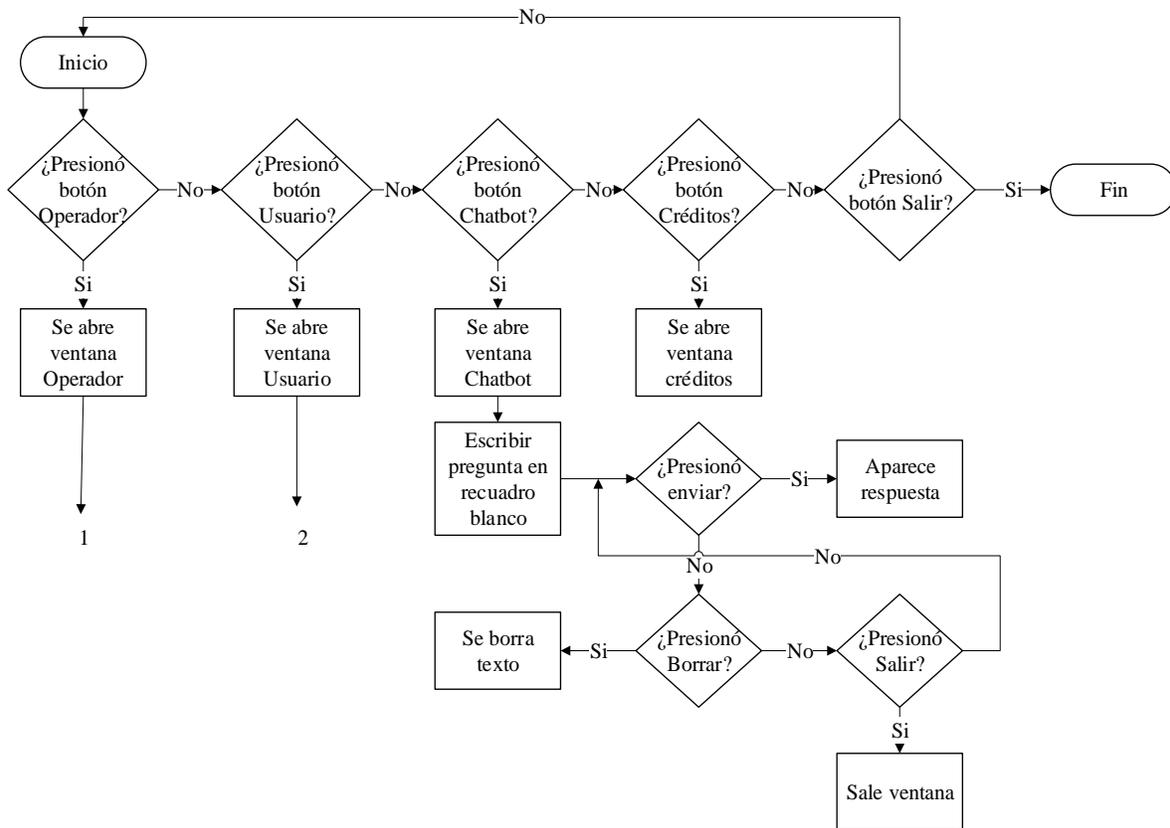


Figura 87. Diagrama flujo HMI

Al abrir la ventana de operador (Figura 88) se tienen varias opciones, como: el seguimiento de rostro (Figura 81), detección de colores (Figura 82), inicializar la cámara para ver lo que ve el robot en la ventana de operador.

El botón Home para que el robot regrese a la posición inicial con luces de colores aleatorios en sus manos, escribir el texto para el TTS o seleccionar alguna emoción (Figura 83).

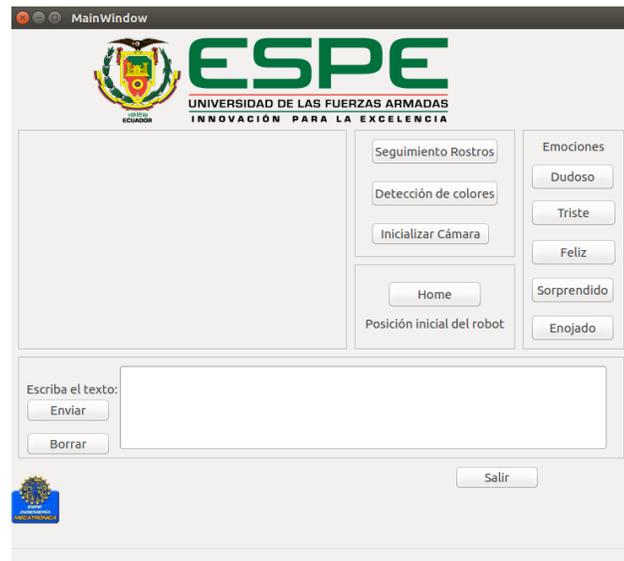


Figura 88. Ventana operador HMI

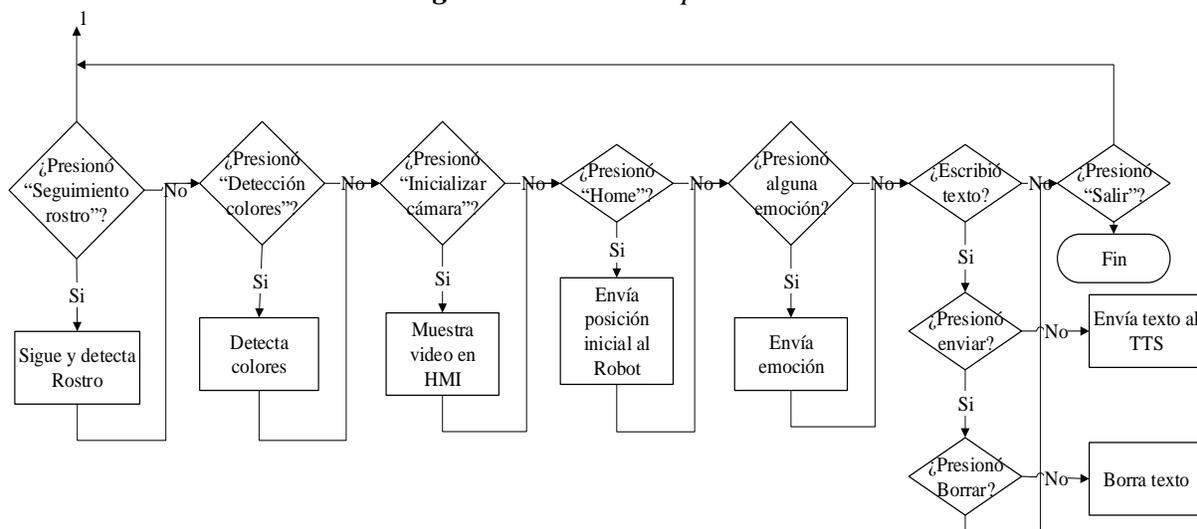


Figura 89. Diagrama de flujo ventana operador

En la ventana usuario (Figura 90) existen los temas para el aprendizaje y juegos de los niños/as de acuerdo a la edad, si selecciona un número se abre la ventana del número para reproducir el video y una vez que termina el video presionar jugar para enviar el número a la pantalla táctil. El mismo procedimiento se cumple para la ventana de algún color, si presiona juego 1 manda al juego de las manos con el robot, si aplasta juego 2 manda al juego con las tarjetas para la detección de colores con el robot.



Figura 90. Ventana usuario HMI

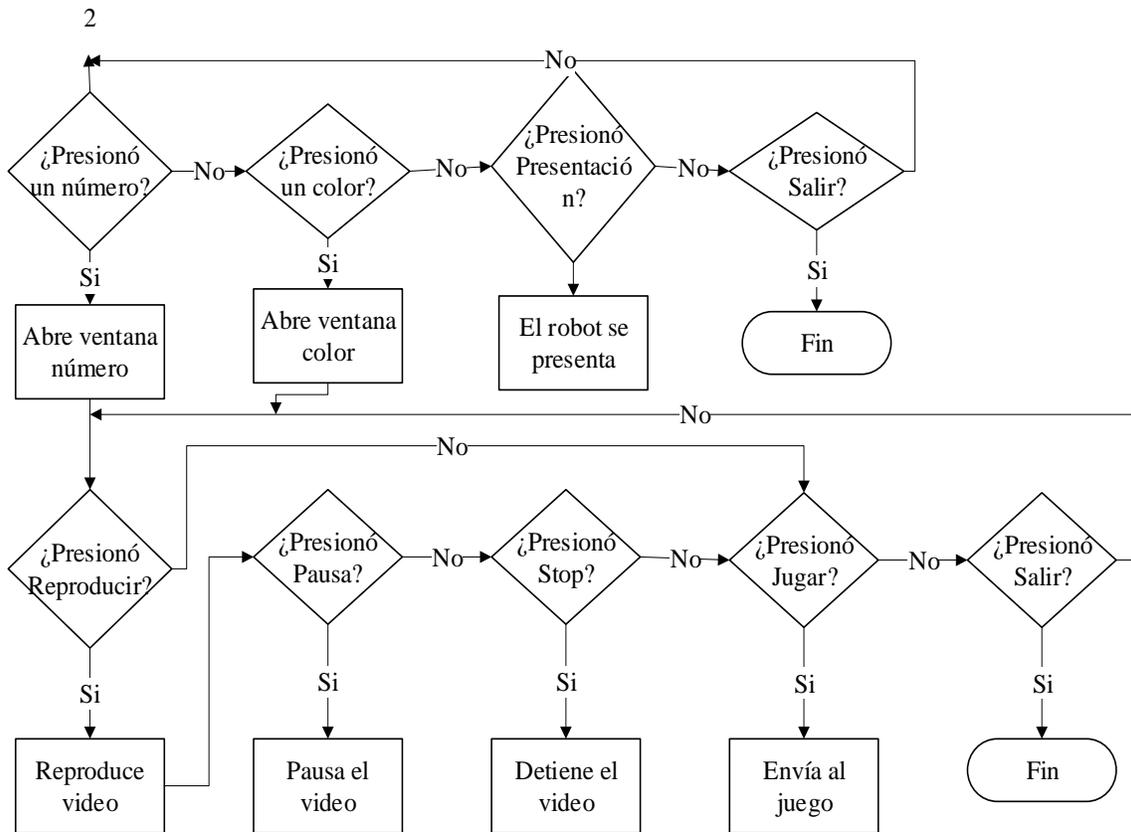


Figura 91. Diagrama de flujo ventana usuario

- Diagrama máquina de estados

Se realiza una máquina de estados básica con 6 estados, para la interacción entre el robot y el niños mientras se ejecutan los juegos.

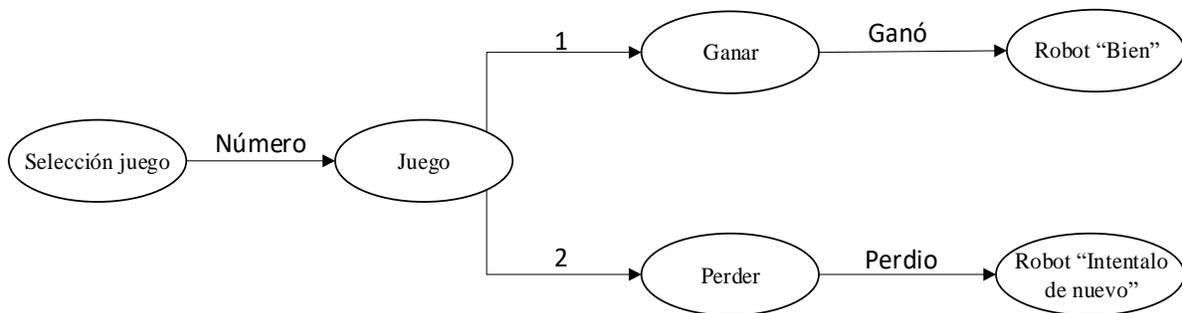


Figura 92. Diagrama de estados

4.1.5. *Arquitectura ROS*

4.1.5.1. *Nodos*

- Nodo servos

Envía los ángulos de los servomotores a la tarjeta SSC-32

- Subscriptor canal servos

- Nodo emociones

Recibe el comportamiento que selecciono el usuario para enviar los movimientos al nodo servos y los colores que deben prenderse las manos al nodo colores.

- Subscriptor canal emociones

- Publicador canal colores

- Publicador canal servos

- Nodo colores

El nodo colores recibe el color que debe encenderse las manos del robot.

- Subscriptor canal colores

- Nodo habla

Recibe el texto para el text to speech

- Subscriptor canal texto

- Nodo juego1

Recibe el número para enviar a la pantalla táctil y jugar en la pantalla

- Subscriptor canal juego1

- Nodo manos

En el nodo manos recibe el color del tema que se seleccione, envía de que colores deben

encenderse las manos y finalmente da el resultado si el niño o niña presiono la mano del color indicado.

- Subscriptor canal manos
- Subscriptor canal arduino
- Publicador canal colores
- Publicador canal resultado
- Nodo grandes

Recibe la información que está en los temas de colores para grandes, manda un color aleatorio para jugar al nodo manos.

- Subscriptor canal grandes
- Publicador canal manos
- Publicador canal juego colores 2
- Nodo juego colores

El nodo es para el juego de la detección de colores de las tarjetas, recibe el color que debe detectar y compara el color seleccionado con el color de la tarjeta y envía si acertó o falló

- Subscriptor juego colores 1
- Publicador canal resultado
- Nodo comp

Nodo envía si gana o pierde en la pantalla táctil y si se presiona la mano derecha o izquierda del robot.

- Publicador sensor y gana o pierde pantalla
- Nodo resultado

Recibe si se ganó o perdió en cualquiera de los juegos y envía al nodo emociones el

comportamiento de ganar o perder.

- Subscriptor de canal resultado
- Publicador canal emociones
- Nodo números grandes

Es para los temas de los números de los niños grandes realiza un aleatorio de número y color y envía al Arduino para enviar a la pantalla

- Subscriptor canal grandes
- Publicador canal juego1
- Nodo joy

Recibe si algún botón del Joystick es presionado y si es presionado varía los ángulos del robot y lo manda al nodo servo.

- Subscriptor canal Joy
- Publicador canal servos
- Nodo FSM (máquina de estados)

Recibe la elección del número y efectúa los estados de selección del juego, ganar o perder

- Subscriptor canal juego 3
- Subscriptor canal
- Nodo Arduino

Recibe los datos del Arduino y los separa en resultado para enviar a resultado o si presiona alguna mano, para enviar la nodo mano.

- Subscriptor canal comp
- Publicador canal resultado
- Publicador canal id

- Nodo Reproducir

Recibe que audio reproducir

- Suscriptor canal audio

- Nodo HMI

Envía que tema se seleccionó para los juegos de números y colores, que color deben encenderse

las manos y que comportamientos.

- Publicador canal audio
- Publicador canal colores
- Publicador canal servos
- Publicador canal juego 1
- Publicador canal juego 2
- Publicador canal juego 3
- Publicador canal juego colores
- Publicador canal números grandes
- Publicador canal grandes
- Publicador canal texto
- Publicador canal emociones

4.1.5.2. *Canales*

- Canal servos
- Canal emociones
- Canal colores
- Canal texto
- Canal juego 1
- Canal juego 2
- Canal juego 3

4.2.2. Método

El proceso se realiza con un niño a la vez y bajo la supervisión de un adulto (docente o padre) el cual debe tener información acerca del nivel de conocimiento del niño/a para poder seleccionar los temas que se desean reforzar mediante juegos y actividades interactivas.

Las temáticas y edades fueron establecidas por profesionales de educación infantil de la Escuela de educación general básica Nicolas Guillén ubicada al sur de Quito.

Se realiza una evaluación a los niños/as antes y después de reforzar sus conocimientos con “NAR”, como se lo realiza en (Tanaka & Matsuzoe, Children Teach a Care-Receiving Robot to Promote Their Learning: Field Experiments in a Classroom for Vocabulary Learning, 2012), de tal manera que se evidencie los conocimientos adquiridos o recordados del mismo.

Se realizan 4 juegos diferente sobre números y colores, de los cuales se evaluaron 4 intentos de cada uno, siendo en total 8 resultados por niño.

Los resultados son registrados de manera manual para su posterior tabulación y análisis.

4.2.3. Ambiente

Las pruebas de funcionamiento se las realiza con el robot sobre una superficie plana de 1 metro de altura, a temperatura ambiente, dentro de una superficie cubierta iluminada por luz artificial.

4.2.4. Participantes

Para las pruebas se seleccionan 10 niños/as de entre 2 y 5 años pertenecientes al barrio San Martin ubicado al sur de Quito. Los niños/as son estudiantes de educación inicial en donde sus conocimientos adquiridos dependen de la estimulación en el hogar y en el centro educativo, por lo

cual el tener la misma edad, no garantiza el mismo nivel de conocimiento.

4.2.5. Procedimiento

Las actividades interactivas se realizan en el siguiente orden basados en (Hood et al., 2015):

- 1) El adulto selecciona el tema a reforzar según la edad.
- 2) El robot habla acerca del tema que se estudiará y mira hacia la pantalla.
- 3) El adulto reproduce el video educativo sobre el tema seleccionado.
- 4) El adulto selecciona la opción Jugar.
- 5) El robot vuelve a su posición inicial e invita al niño a jugar después de una breve explicación.
- 6) El niño selecciona la opción que considera correcta.
- 7) El robot indica si la opción seleccionada es correcta o incorrecta mediante voz y gestos.

4.2.6. Prueba Piloto

La prueba piloto se realiza a 1 niño de 2 a 5 años de edad, a fin de verificar que el protocolo es el adecuado para obtener un correcto análisis de resultados.

4.2.7. Experimentación

La secuencia de interacción de la Figura 94 indica el orden y tiempo aproximado que tarda cada actividad

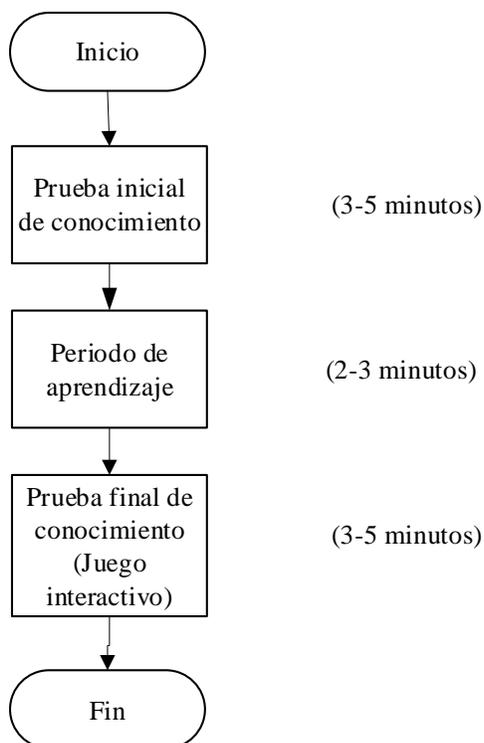


Figura 94. Diagrama de flujo experimento

4.2.7.1. *Juegos*

El robot cuenta con 8 juegos, 4 para niños/as de 2-3 años y 4 para niños/as de 4-5 años, de los cuales 2 son juegos de números y dos son juegos con colores. Los juegos y videos fueron programados en base a la orientación de 3 profesionales con experiencia en el tema de la Unidad Educativa General Básica Nicolas Guillén.

4.2.8. *Participantes*

En el experimento participaron 10 niños, 5 niñas y 5 niños con edades de 3 a 5 años. De los 10 niños/as 6 tenían 5 años, 2 tenían 4 años y 2 tenían 3 años. Los participantes son de diferentes unidades educativas, residentes del Barrio San Martín de Porres ubicado al Sur de Quito.

4.2.9. Resultados

En la Tabla 40 y 41 tenemos información básica de los niños y niñas que nos ayudaron con los experimentos. Durante el experimento los/as participantes mostraron timidez al inicio de las pruebas, debido a la presencia de varias personas extrañas, afectando a la fluidez y concentración durante los video educativos.

Tabla 41*Resultados Pre – Test*

Datos Participantes			Pre test				Resultados	
Niños	Edad	Género	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Intento 4	Aciertos(%)	Fallas(%)
1	5 años	F	0	1	1	1	75	25
2	4 años	M	1	0	1	1	75	25
3	5 años	M	0	0	1	1	50	50
4	3 años	M	1	0	1	1	75	25
5	5 años	F	1	1	1	1	100	0
6	5 años	F	1	1	1	1	100	0
7	3 años	F	1	0	0	0	25	75
8	5 años	M	1	0	1	1	75	25
9	5 años	M	0	1	1	0	50	50
10	4 años	F	1	1	0	1	75	25
Total							70	30

Tabla 42
Resultados experimentos

Datos Participantes			Juego 1				Juego 2				Valoración			Resultados J1		Resultados J2		Atención al video	Participación
Niños	Edad	Género	Int 1	Int 2	Int 3	Int 4	Int 1	Int 2	Int 3	Int 4	juegos	robot	videos	Aciertos	Fallas	Aciertos	Fallas		
1	5 años	F	1	1	1	1	1	0	1	1	Si	si	si	100	0	75	25	100%	si
2	4 años	M	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	100%	
3	5 años	M	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	100%	
4	3 años	M	1	1	1	1	1	0	1	1	Si	si	si	100	0	75	25	85%	si
5	5 años	F	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	95%	si
6	5 años	F	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	80%	si
7	3 años	F	0	1	0	0	1	0	1	0	Si	si	si	25	75	50	50	50%	si
8	5 años	M	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	100%	
9	5 años	M	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	100%	
10	4 años	F	1	1	1	1	1	1	1	1	Si	si	si	100	0	100	0	100%	
TOTAL														92,5	7,5	92,5	7,5	91%	

4.2.10. Análisis de resultados

De acuerdo a la Tabla 39 el porcentaje de aciertos promedio es de un 70% y de fallo promedio un 30% del pre test, después de la explicación del robot (Tabla 40) y con los juegos el promedio de aciertos es de 92,5% y el promedio de error es 7,5%, en ambos juegos, como se observa en la Figura 95.

Por lo tanto, los resultados validan al robot NAR como una herramienta educativa interactiva por la mejora de aciertos de un 70% a un 92.5%.

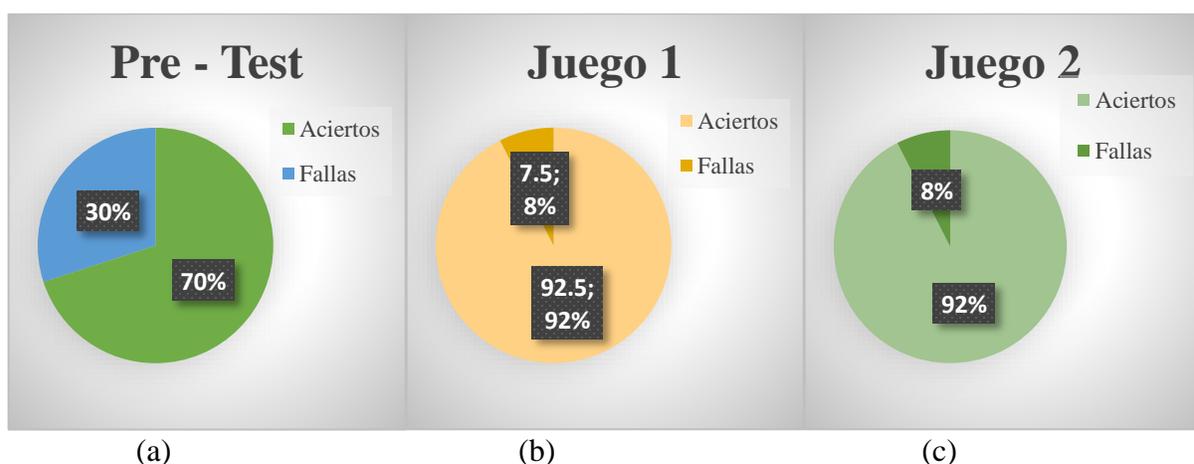


Figura 95. Resultados aciertos y fallas.

a) Pre Test, b) Juego 1, c) Juego 2

De los 10 niños/as participantes a un 100% les gustó el robot, el video y los juegos. Los padres que estuvieron presentes en los experimentos existió un 100% de aceptación hacia el robot.

De los 10 niños/as 9 prestaron atención más del 80% del video y 1 niña tan solo el 50%. La niña que prestó atención al 50% del video tuvo un porcentaje de aciertos menor al de fallos 25%-75%, pero en el segundo intento subió al 50%-50%, siendo el porcentaje más bajo del grupo de niños/as.

De los 10 niños/as, 5 participaron en las preguntas del video y los otros 5 no participaron, tomando en cuenta que la mayoría de niños/as eligieron los videos de los colores existiendo menores oportunidades de participar que los videos de los números.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se rediseñó y construyó un robot social llamado “NAR”, orientado para la educación de 2 a 5 años programado con juegos interactivos sobre números y colores dependiendo de la edad de los niños/as. Donde el robot interactúa con los niños/as invitándolos a ver un video educativo y después a jugar. El robot reacciona cuando el niño/a gana o pierde el juego.
- El robot cuenta con 8 juegos, 4 para niños/as de 2-3 años y 4 para niños/as de 4-5 años, 2 son juegos de números y 2 son juegos con colores. Los juegos y videos fueron programados en base a la orientación de 3 profesionales con experiencia en el tema de la Unidad de Educación General Básica Nicolas Guillén.
- La carcaza y partes internas del robot que permiten el movimiento son de PLA Pro, la base está hecha de MDF de 9mm de espesor, para tener una estructura más liviana. La base se usa para adaptar una pantalla táctil y delimitar el espacio de interacción de los juegos. El robot tiene un estilo de apariencia minimalista para que tenga mayor aceptación con el usuario. El robot mide 26 x 26 x 35 cm y con la base mide 50 x 40 x 37 cm.
- El robot consta de 7 grados de libertad, 3 en la cabeza, 1 en cada ceja y 1 en cada pie. Posee una cámara en la boca para la detección y seguimiento de rostros y la detección de colores a través de códigos QR.
- El robot imita 5 emociones: felicidad, enojo, sorpresa, duda y tristeza a través de

movimientos de cabeza, cejas y pies, por medio de luces en las manos y sonidos. También posee un sensor piezoeléctrico en cada mano para sentir cuando tocan las manos

- Se usa una tarjeta SSC-32 para el control de los servos y un Arduino Mega para la recepción y transmisión de los datos de los sensores y la pantalla táctil.
- Se programó una máquina de estados para el juego con los números de niños/as de 2 a 3 años, que consta de 4 estados: selección de número para el juego, jugar, ganar y perder. La cual permite seguir una secuencia lógica siendo un nivel muy básico de inteligencia artificial.
- El HMI fue programada en PyQT y Python. Consta de un total 16 pantallas, 1 principal, 4 secundarias y 11 complementarias. Dependiendo de la pantalla se puede controlar el robot o seleccionar los temas de educación con sus juegos y la pantalla táctil se usa exclusivamente para juegos didácticos con los niños/as dependiendo del tema aprendido en el HMI.
- El porcentaje de aciertos promedio en las pruebas realizadas es de un 70% y de fallo promedio un 30% del pre test, después de la explicación del robot y con los juegos el promedio de aciertos es de 92,5% y el promedio de error es 7,5%, en ambos juegos como se observa en la Figura 106, por lo tanto, existe una mejora en el porcentaje de aciertos. En promedio la atención prestada a los videos educativos fue de un 91%, donde 9 de los 10 niños/as tuvieron un porcentaje mayor al 80%.
- El robot NAR es una herramienta educativa de refuerzo, por lo tanto, no se evalúa el aprendizaje de los niños/as, debido a que es un proceso a largo plazo, sino el comportamiento y mejora en rendimiento que sucede durante y después de la interacción con el robot. Siendo una herramienta que ayuda a reforzar conocimientos previamente obtenidos por el niño/a,

por tal manera no se busca reemplazar ni compararlo con un educador.

5.2. Recomendaciones

- Implementar otras temáticas y agregar más funciones en el módulo de interacción para aumentar el tiempo de interacción directa con el robot, e implementar una máquina de estados para todas las funciones implementadas.
- Incrementar el número de juegos, en donde el niño interactúe con el robot directamente para que el niño/as preste mayor interés en la actividad.
- Aumentar grados de libertad en las piernas y brazos, para que el robot tenga mayor movilidad y mayor capacidad de interacción. E implementar una computadora a bordo, para que las conexiones físicas no sean una limitante
- Implementar una boca móvil sin dañar la estética del robot, que permita enfatizar las emociones expresadas por el robot.
- Realizar las pruebas con el robot en un periodo más largo de tiempo, para obtener resultados orientados al aprendizaje de los niños/as.

5.3. Trabajos Futuros

- Aumentar las funciones de visión artificial para obtener una mejor y directa interacción con el usuario, mejorando la calidad de imagen y el procesamiento de las mismas.
- Para mejorar la interacción se recomienda implementar un sistema de “Reconocimiento del habla” a fin de lograr una mejor comunicación bidireccional entre el robot y el usuario. Y mejorar el sistema de “Text to speech” a uno pagado que posea una voz más adecuada y

fluida con acento más natural, a fin de que sea la única voz del robot.

- Convertir a NAR en un robot móvil para mejorar la interacción, es decir que pueda caminar o desplazarse por medio de ruedas, darle mayor movilidad a sus brazos y buscar una fuente de energía independiente para brindarle mayor autonomía.
- Implementar un robot móvil controlado por NAR de acuerdo a sus funciones de interacción, para aumentar las aplicaciones enfocadas a que el usuario interactúe no sólo con el robot sino también con el medio.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrés, S. (2002). *Avances en robótica y visión por computador*. España.
- Aracil, R., Balaguer, C., & Armada, M. (Abril de 2008). Robots de servicio. Madrid.
- Arduino. (2018). Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- Argentina, R. (s.f.). Obtenido de <http://robots-argentina.com.ar/not/12/072501.htm>
- Asheber, W., Chyi-Yeu, L., & Hsiang, S. (21 de Diciembre de 2015). Humanoid Head Face Mechanism with Expandable Facial Expressions. Taipei, Taiwan.
- Autodesk. (2018). *Fusion 360*.
- Boy, G. (2011). *The Handbook of Human-Machine-Interaction*. Burlington: MPG Books Group.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. Sebastopol.
- Bretan, M., & Weinber, G. (2016). A survey of robotic musicianship. *Cimmunication of the ACM*.
- Broekens, J., Heenrink, M., & Rosendal, H. (Diciembre de 2007). Assitive social robots in elderly care: a review.
- Canarias Blog. (08 de Diciembre de 2008). *Paro el robot*.
- Carnegie Mellon University. (01 de Diciembre de 2004). Human Health. *Pearl the NurseBot: The Softer Side of Technology*.
- Christoph Bartneck, P. (12 de Agosto de 2009). *Photos of Philips iCat Robot*. Nueva Zelanda: University of Canterbury.
- Cipolla, & Pentland. (1998). *Computer Vision for Human-Machine Interaction*. Cambridge University Press.
- Clarke, R. (December de 1993). *Asimov's Laws of Robotics: Implication for information Technology*. IEEE.

- Custom Entertainment Solutions INC. (s.f.). Industrial Animatronic Neck Mechanism. .
- Dario, P., Guglielmelli, E., & Laschi, C. (16 de Agosto de 2001). Journal of Robotics System. *Humanoids and personal Robots: Design ans experiment*. Pisa, Italia.
- Davison, A., & Murray, D. (26 de Mayo de 2006). Mobile robot localisation using active vision.
- de Graaf, M., Allouch, B., & Dijk. (2015). Social Robotics. *What Makes Robots Social?: A User's Perspective*.
- Diaz, M. (19 de Agosto de 2015). Obtenido de <https://hipertextual.com/2015/08/teoria-del-valle-inquietante>
- Digital, P. (2018). Obtenido de <https://parceladigital.com/2016/04/24/douglas-engelbart-un-visionario-e-inventor/>
- Dirección Nacional de Tecnologías de la Información y Educación. (2015). *Sistema Integral de tecnologías para la escuela y comunidad*. Quito.
- Duffy, B. (2003). *Anthropomorphism and the social robot*. ELSEVIER.
- ESPE. (s.f.). *Gestión de la Investigación*. Obtenido de <http://ugi.espe.edu.ec/ugi/lineas-de-investigacion/>
- Fraunhofer. (2002). *Care o bot*.
- Fridin, M. (2014). *Storytelling by a kindergarten social assistive robot: A tool for constructive learning in preschool education*. ELSEVIER.
- Fridin, M., & Belokopytov, M. (15 de Enero de 2014). Computer in Human Behavior . *Acceptance of socially assistive humanoid robot by preschool and elementary school*. Israel.
- Fujitsu. (s.f.). *Plasticpals*. Obtenido de http://www.plasticpals.com/?attachment_id=28092
- García, M. (2005). La tecnología robótica. *Ciencia y Desarrollo*, 1.

Graham, D. (26 de Julio de 2007). An emotional cat robot. *MIT Technology Review*.

Hernández, I., & Ochoa, C. (12 de Enero de 2004). *Control difuso y construcción de un mecanismo capaz de golpear con distintos efectos una bola de billar*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Americas Puebla.

Honda. (2011). *Hipertextual*. Obtenido de <https://hipertextual.com/2011/11/el-robot-asimo-de-honda-ya-puede-correr-y-saltar>

Hood, D., Lemaignan, S., & Dillenbourg, P. (05 de Marzo de 2015). *When Children Teach a Robot to Write: An Autonomous Teachable Humanoid Which Uses Simulated Handwriting*. Portland, Estados Unidos.

INEC. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Población y Demografía: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

InMoov. (s.f.). Inmoov neck, skull and jaw assembly animation.

Instituto de Tecnología Educativas. (s.f.). Educación inclusiva. *Percepción táctil y háptica*. España.

Instituto de Tecnologías Educativas. (s.f.). *Educación Inclusiva. Personas con Discapacidad Visual*. Obtenido de http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_9/m9_percepcion_tactil.htm

Instituto Tecnológico Superior de Zapotlanejo. (13 de Agosto de 2008). Unidad de Aprendizaje. *Manual de práctica para el autoaprendizaje*. Zapotlanejo.

Lab, M. M. (2012). Obtenido de [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_\(robot\)#/media/File:Leonardo_\(robot_body\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_(robot)#/media/File:Leonardo_(robot_body).jpg)

- Lin, P., Abney, K., & George, B. (2012). *Robot Ethics*. Massachusetts: The MIT press.
- Meerbeek, B. (s.f.). *ERCIM*. Obtenido de <https://ercim-news.ercim.eu/en67/special-theme-embedded-intelligence/icat-a-friendly-robot-that-helps-children-and-grown-ups>
- Meerbeek, B., Hoonhout, J., Bingley, P., & Breemen, A. (2016). ERCIM NEWS. *iCat - A Friendly Robot that Helps Children and Grown-Ups*.
- Meltzof, A. (21 de Diciembre de 2012). Science AAAS. *Foundation for a New Science of Learning*. New York, Estados Unidos.
- Meltzoff, A., Kuhl, P., Movellan, J., & Sejnowski, T. (2009). *Foundations for a New Science of Learning*. Science.
- Microsoft. (2017). *Microsoft*. Obtenido de <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>
- Minsky, M. (1967). *Computation: Finite and Infinite Machines*. New Jersey: Prentice-Hall.
- MIT. (2015). Leonardo. *Personal Robot Group*. Estados Unidos.
- MIT. (2015). *Personal Robots Group*. Obtenido de <http://robotic.media.mit.edu/portfolio/huggable/>
- Mori, Masahiro. (1970). *The uncanny Valley*.
- Nuance. (2017). *TTS demo interactive*. Obtenido de <http://www.nuance.es/empresas/solucion/soluciones-de-atencion-al-cliente/servicios-y-soluciones/soluciones-de-recepcion-de-llamadas/loquendo-small-business-bundle/interactive-tts-demo/index.htm>
- Okamura, M. (2004). Methods for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery.
- Open Source Computer Vision. (18 de December de 2015). *OpenCV*. (Face Detection using Haar Cascades) Recuperado el 27 de November de 2017, de

https://docs.opencv.org/3.1.0/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html

PARO Robots. (2014). PARO. *PARO therapeutic Robot*.

Robins, B., & Dautenhahn, K. (2005). *Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills?* Univ Access.

Robot Center. (2018). Karotz Rabbit Robot.

Robotics, H. (2017). *Sophia*. Obtenido de <http://sophiabot.com/about-me/>

Robotics, H. (2017). *Sophia*. Obtenido de <http://sophiabot.com/photos/>

Robotrónica. (2015). *AliveRobots.com*. Obtenido de AliveRobots: <http://aliverobots.com/nao/>

Rosebrock, A. (3 de Abril de 2017). *pyimagesearch*. Obtenido de Facial Landmarks with dlib, OpenCV, and Python.

Russell, S., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno*. Madrid: Pearson.

Saerbeck, M., Schut, T., Bartneck, C., & Janse, M. (2010). *Expressive Robots in Education*.

Salichs, M., Salichs, E., Encinar, I., Castro, A., & Malfaz, M. (2014). Estudio de escenarios de uso para un robot social asistencial para enfermos de Alzheimer. *Estudio de escenarios de uso para un robot social asistencial para enfermos de Alzheimer*. Valencia, España: Comité Español de Automática de la IFAC.

Savage, J., Marquéz, E., & Lepe, F. (2005). Virbot y los robots de servicio. *Cienciaa y Desarrollo*, 47-49.

Sony. (2012). *Sony Qrio*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sony_Qrio_Robot.jpg

Sony. (01 de Noviembre de 2017). Comunicados de prensa. *Entertainment Robot "aibo" Announced*. Japón.

- Source Forge . (1995). *eSpeak text to speech*. Obtenido de Source Forge :
<http://espeak.sourceforge.net/>
- Sproat, R., & Olive, J. (Marzo/Abril de 1995). Text to speech synthesis. AT&T Technical journal.
- Tanaka, F., & Matsuzoe, S. (2012). *Children Teach a Care-Receiving Robot to Promote Their Learning: Field Experiments in a Classroom for Vocabulary Learning*.
- Tanaka, F., Aaron, C., & Javier, M. (27 de Septiembre de 2007). *Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center*. California, Estados Unidos.
- Taylor, P. (2009). Introduction. En *Text to Speech Synthesis* (págs. 1-3). New York: Cambridge University Press.
- Taylor, P. (2009). *Text to Speech Synthesis*. New York: Cambridge University Press.
- UC3M. (2016). *UC3M*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid.
- UNICEF. (Julio de 2004). Desarrollo psicosocial de los niños y niñas. Colombia: Taller creativo de Aleida Sánchez B. Ltda.
- University of Edinburgh. (s.f.). *The Festival Speech Synthesis System*. Obtenido de CSTR:
<http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/>
- Vargas, J. (2005). Robotizar el futuro. *Ciencia y Desarrollo*, 32-35.
- VDI RICHTLINIEN. (Junio de 2004). VDI 2206. *Design methodology for mechatronic systems*.
- Verbio. (s.f.). *Demos Verbio*. Obtenido de Verbio:
<http://www.verbio.com/webverbiotm/html/demos.php>