



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT
INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS
CON EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)**

AUTOR: RUBIO BENAVIDES, JESSICA ALEXANDRA

DIRECTOR: ING. LOZA DAVID

SANGOLQUÍ

2016



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS CON EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)**” realizado por la señorita *Jessica Alexandra Rubio Benavides*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita *Jessica Alexandra Rubio Benavides* para que lo sustente públicamente.

Quito, 25 de agosto del 2016



Ing. David César Loza Matovelle
DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JESSICA ALEXANDRA RUBIO BENAVIDES**, con cédula de identidad N° 1719534412, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS CON EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Quito, 25 de agosto del 2016

JESSICA ALEXANDRA RUBIO BENAVIDES

C.C. 1719534412



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **JESSICA ALEXANDRA RUBIO BENAVIDES**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE PERSONAS CON EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Quito, 25 de agosto del 2016

JESSICA ALEXANDRA RUBIO BENAVIDES

C.C. 1719534412

DEDICATORIA

Dedico el desarrollo de este proyecto a mis padres Pablo y Alexandra, por su sacrificio, esfuerzo y su ejemplo me permitió culminar con esta etapa.

A Daniel que ha sido un compañero de vida, que me han apoyado incondicionalmente a cada instante. A mí amado hijo Sebastián, por ser una fuente de inspiración y motivación.

A mis hermanas: Jackeline y Dayana, quienes con su apoyo, participaron en un papel fundamental en alcanzar mis objetivos y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A toda mi familia y amigos que de una u otra manera permitieron que hoy me encuentre culminando la carrera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por haberme colmado de salud y darme la fuerza para alcanzar cada una de mis metas.

A mis padres por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia se alcanzan nuestras metas. Por su amor y esfuerzo dedicado para que pueda culminar esta etapa. Por ser un pilar fundamental y el motor que impulsa mi vida.

A mi compañero de vida Daniel, con el cual hemos avanzado juntos en la culminación de esta etapa de formación profesional. Por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí.

A mi tía Liliana y mis primos: Doménica y Cristhian, por compartir un lazo de amor y cariño a mi querido hijo. Por todo el tiempo dedicado en su cuidado y educación.

A Irene y Renata que me abrieron las puertas de su hogar y me apoyaron incondicionalmente.

A mi tutor de tesis Ing. David Loza por permitirme ser parte en el desarrollo de este tema de investigación. Por sus conocimientos compartidos y su constante seguimiento.

A mis hermanas Jackeline y Dayana por su apoyo e interés puesto en esta larga trayectoria de formación profesional.

A mi tía Sandy, hermana y amiga por sus consejos y apoyo a lo largo de toda mi vida.

A mis amigos y compañeros que fueron parte de cada uno de los pequeños escalones para alcanzar esta meta.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. OBJETIVO	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. ALCANCE.....	10
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	12
1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	13
CAPÍTULO 2.....	15
ESTADO DEL ARTE	15
2.1. TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA.....	15
2.1.1. Origen del término	15
2.1.2. Criterios y Especificaciones de gravedad del TEA.....	17
2.1.3. Clasificación del TEA.....	20
2.2. ROBÓTICA	21
2.2.1. Configuración de los robots.....	22
2.2.2. Robots sociales.....	25

2.2.2.1.	<i>Características</i>	26
2.2.2.2.	<i>Clasificación</i>	27
2.2.3.	Robótica social terapéutica	29
2.3.	TELEOPERACIÓN.....	32
2.3.1.	Conceptos.....	32
2.3.2.	Arquitectura de control	33
2.3.2.1.	<i>Control supervisado</i>	33
2.3.2.2.	<i>Control distribuido</i>	34
2.3.2.3.	<i>Control directo</i>	34
2.4.	SISTEMA DE CÓDIGO ABIERTO	35
2.4.1.	Software libre.....	36
2.4.2.	PROCESSING	38
2.4.2.1.	<i>Características</i>	38
2.4.3.	Hardware libre.....	39
2.5.	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	39
2.5.1.	OpenCV	41
2.6.	RESUMEN	41
	CAPÍTULO 3.....	42
	DISEÑO DEL SISTEMA.....	42
3.1.	METODOLOGÍA DE DISEÑO	42
3.2.	ÁREA DE POBLACIÓN DE APLICACIÓN	43
3.3.	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	45
3.3.1.	QFD (Quality Funtion Deployment).....	45
3.3.1.1.	<i>Especificaciones Obtenidas</i>	50
3.3.1.2.	<i>Determinación de las especificaciones</i>	52
3.3.1.3.	<i>Arquitectura modular</i>	53
3.3.2.	Selección de conceptos de diseño	54
3.3.2.1.	<i>Módulo estructura</i>	54
3.3.2.2.	<i>Módulo movimiento</i>	68

3.3.2.3.	<i>Módulo control</i>	71
3.3.2.4.	<i>Módulo electrónico y eléctrico</i>	75
3.3.2.5.	<i>Módulo tele-operación</i>	91
3.3.2.6.	<i>Módulo Aplicación tratamiento</i>	101
3.3.2.7.	<i>Módulo Visión artificial</i>	112
3.3.2.8.	<i>Módulo suministro de energía</i>	116
3.3.3.	Concepto de diseño	120
3.4.	RESUMEN	122
	CAPÍTULO 4	124
	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	124
4.1.	CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT INTERACTIVO	124
4.1.1.	Construcción de la estructura externa e interna	124
4.1.2.	Implementación de cabeza y extremidades	127
4.1.3.	Apariencia	130
4.2.	PRUEBAS	132
4.2.1.	Dimensionales	132
4.2.2.	Funcionamiento	133
4.2.2.1.	<i>Movimiento</i>	133
4.2.2.2.	<i>Visión artificial</i>	135
4.2.2.3.	<i>Aplicación</i>	135
4.2.2.4.	<i>Comunicación tele-operación</i>	137
4.2.3.	Interacción especialista	137
4.2.4.	Interacción paciente	141
4.3.	RESUMEN	144
	CAPÍTULO 5	145
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1.	CONCLUSIONES	145
5.2.	RECOMENDACIONES	147
	Bibliografía	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TAREAS DE ROBOTS: A) LÍNEAS DE PRODUCCIÓN, B) ÁREA MILITAR, C) ÁREA DOMÉSTICA, D) ÁREA ESPACIAL	3
FIGURA 2. ISOTIPO DEL TEA	4
FIGURA 3. MUÑECA ROBOT - ROBOTA.....	5
FIGURA 4. ROBOT HIJO - KASPAR.....	5
FIGURA 5. ROBOT DINOSAURIO-PLEO.....	5
FIGURA 6. ROBOT INFANOID	5
FIGURA 7. ROBOT MUÑECO – KEEPON	6
FIGURA 8. ROBOT REALISTA – FACE.....	7
FIGURA 9. ROBOT TITO	7
FIGURA 10. ROBOT HOAP-3	7
FIGURA 11. PROYECTO MAEL	8
FIGURA 12. ROBOT HUMANOIDE DE DANIEL VALLEJO	9
FIGURA 13. ROBOT HUMANOIDE - K LU K	9
FIGURA 14. CLASIFICACIÓN DEL TEA.....	20
FIGURA 15. ROBOT POLIARTICULADO.....	23
FIGURA 16. ROBOT MÓVIL.....	23
FIGURA 17. ROBOT ANDROIDE	24
FIGURA 18. ROBOT ZOOMÓRFICO	24
FIGURA 19. ROBOT HÍBRIDO.....	25
FIGURA 20. PRIMER ROBOT QUE MANIFIESTA EMOCIONES – KISMET	26
FIGURA 21. ROBOT SOCIAL JIBO.....	27
FIGURA 22. KEEPON.....	30
FIGURA 23. PROYECTO THERAPIST	30
FIGURA 24. ROBOT PARO.....	31
FIGURA 25. ROBOT TEDDY	31
FIGURA 26. SISTEMA DE CONTROL SUPERVISADO.	33
FIGURA 27. CONTROL DISTRIBUIDO EN CIRUGÍA TELEROBOTIZADA.	34
FIGURA 28. OPERACIÓN REMOTA DE EXCAVADORA.....	34
FIGURA 29. CARACTERIZACIÓN DEL OPEN SOURCE	36
FIGURA 30. RED DE CONCEPTOS DEL SOFTWARE LIBRE.....	37
FIGURA 31. MODELOS DE HARDWARE LIBRE.....	39
FIGURA 32. DISPOSITIVOS CON CAPACIDAD DE PROCESAR IMÁGENES.....	40
FIGURA 33. CÁMARAS PARA SISTEMAS EMBEBIDOS	40
FIGURA 34. PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO	42
FIGURA 35. ROBOT DE 2WD DE 3 CAPAS	54

FIGURA 36. ESTRUCTURA SÓLIDA DE ROBOT HUGGABLE.....	55
FIGURA 37. ESTRUCTURA INTERNA.....	57
FIGURA 38. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA BASESERVO.....	58
FIGURA 39. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA BASESERVO	58
FIGURA 40. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA TAPA CUERPOB	59
FIGURA 41. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA TAPA CUERPOB	59
FIGURA 42. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA BASESERVO.....	60
FIGURA 43. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA BASESERVO	60
FIGURA 44. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA2.....	61
FIGURA 45. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA2	61
FIGURA 46. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA TAPA CUERPOBASE	62
FIGURA 47. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA TAPA CUERPOBASE.....	62
FIGURA 48. RECIPIENTE A INYECCIÓN DE PLÁSTICO PE	66
FIGURA 49. GEOMETRÍA ESTRUCTURA EXTERNA: A) DISEÑO CAD, B) DISEÑO CON PIEZA COMERCIAL ..	67
FIGURA 50. ESFUERZO DE VON MISES EN CUERPOB.....	67
FIGURA 51. FACTOR DE SEGURIDAD EN CUERPOB	68
FIGURA 52. MECANISMO CABEZA	69
FIGURA 53. ESFUERZO DE PORTASERVO1.....	69
FIGURA 54. FACTOR DE SEGURIDAD EN PORTASERVO1	70
FIGURA 55. ESFUERZO DE VON MISES EN PORTASERVO	70
FIGURA 56. FACTOR DE SEGURIDAD EN PORTASERVO.....	71
FIGURA 57. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE DEL BRAZO.....	86
FIGURA 58. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE LA CABEZA EJE Y.....	88
FIGURA 59. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE CUELLO	90
FIGURA 60. DISEÑO DEL JOYSTICK.....	94
FIGURA 61. MÓDULO AMPLIFICADOR.....	95
FIGURA 62. MICRÓFONO.....	96
FIGURA 63. ESQUEMA DE DISEÑO DEL HMI DE ESPECIALISTA	100
FIGURA 64. ROBOT PARO.....	101
FIGURA 65. ROBOT AIDA.....	102
FIGURA 66. ROBOT HUMANOIDE – FACE	102
FIGURA 67. TABLET	105
FIGURA 68. INTERFAZ DE DISEÑO DE APP INVENTOR2	110
FIGURA 69. INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN EN BLOQUES APP INVENTOR2.....	110
FIGURA 70. INTERFAZ DE HMI PACIENTE	111
FIGURA 71. INTERFAZ DE HMI EMOCIONES	111
FIGURA 72. INTERFAZ DE HMI JUEGO.....	112

FIGURA 73. CÁMARA WEB	115
FIGURA 74. MÓDULO ELEVADOR DE VOLTAJE	120
FIGURA 75. CONCEPTO FINAL ROBOT INTERACTIVO.....	121
FIGURA 76. ESQUEMA DE CONEXIÓN FINAL ROBOT INTERACTIVO.....	122
FIGURA 77. ENSAMBLE DE PLACA2	125
FIGURA 78. ENSAMBLE DE PLACABASE.....	125
FIGURA 79. ENSAMBLE DE MECANISMO CABEZA	126
FIGURA 80. ENSAMBLE DE PLACAS BASESERVO Y TAPA CUERPOB	126
FIGURA 81. ESTRUCTURA EXTERNA E INTERNA DEL ROBOT INTERACTIVO.....	127
FIGURA 82. SUJECIÓN PANTALLA.....	127
FIGURA 83. IMPRESIÓN 3D BRAZOS	128
FIGURA 84. PIEZAS SIN MATERIAL DE SOPORTE	128
FIGURA 85. CONFIGURACIÓN DE PIEZAS PARA ENSAMBLE	128
FIGURA 86. ENSAMBLE BRAZOS DERECHO E IZQUIERDO	129
FIGURA 87. ENSAMBLE ESTRUCTURA FINAL	129
FIGURA 88. RECUBRIMIENTO CUERPO ROBOT INTERACTIVO	130
FIGURA 89. APARIENCIA BRAZOS.....	130
FIGURA 90. PIEZAS PARA ENSAMBLE DE CUELLO	131
FIGURA 91. PIEZAS PARA ENSAMBLE PANTALLA	131
FIGURA 92. APARIENCIA FINAL ROBOT INTERACTIVO	131
FIGURA 93. EXPRESIÓN FELIZ	135
FIGURA 94. EXPRESIÓN TRISTE	136
FIGURA 95. EXPRESIÓN ENOJADO	136
FIGURA 96. EXPRESIÓN SORPRENDIDO.....	136
FIGURA 97. TELE-OPERACIÓN DE ESPECIALISTA	138
FIGURA 98. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 1.....	139
FIGURA 99. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 2 Y 3.....	140
FIGURA 100. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 4, 5 Y 6	140
FIGURA 101. INTERACCIÓN PACIENTE.....	141
FIGURA 102. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 1, 2 Y 3	143
FIGURA 103. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 4, 5, 6 Y 7	143
FIGURA 104. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 8.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO DEL TEA	17
TABLA 2 NIVELES DE SEVERIDAD DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO DE AUTISMO.....	19

TABLA 3 RASGOS DISTINTIVOS DE PACIENTES CON TEA DE 6 A 10 AÑOS DE EDAD MENTAL.....	45
TABLA 4 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO.....	47
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ROBOT INTERACTIVO	48
TABLA 6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL ROBOT INTERACTIVO.....	49
TABLA 7 SIMBOLOGÍA DE GRADO DE CORRELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	50
TABLA 8 SIMBOLOGÍA DE GRADO DE CORRELACIÓN ENTRE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	50
TABLA 9 PONDERACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	51
TABLA 10 RESULTADOS DE MATRIZ QFD	52
TABLA 11 ARQUITECTURA MODULAR DEL ROBOT INTERACTIVO	53
TABLA 12 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURA INTERNA	55
TABLA 13 PONDERACIÓN DE COSTO PARA ESTRUCTURA INTERNA.....	56
TABLA 14 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA ESTRUCTURA INTERNA.....	56
TABLA 15 PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA ESTRUCTURA INTERNA.....	56
TABLA 16 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ESTRUCTURA INTERNA	57
TABLA 17 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURA EXTERNA	64
TABLA 18 PONDERACIÓN DE COSTO PARA ESTRUCTURA EXTERNA	65
TABLA 19 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA ESTRUCTURA EXTERNA.....	65
TABLA 20 PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA ESTRUCTURA EXTERNA.....	65
TABLA 21 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ESTRUCTURA EXTERNA	65
TABLA 22 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL.....	73
TABLA 23 PONDERACIÓN DE COSTO PARA SOFTWARE DE CONTROL	73
TABLA 24 PONDERACIÓN DE INFORMACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL	73
TABLA 25 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL	74
TABLA 26 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE SOFTWARE DE CONTROL.....	74
TABLA 27 FUNCIONES DE LIBRERÍAS DE <i>PROCESSING</i>	75
TABLA 28 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA TARJETA DE CONTROL	77
TABLA 29 PONDERACIÓN DE COSTO PARA TARJETA DE CONTROL.....	77
TABLA 30 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA TARJETA DE CONTROL.....	77
TABLA 31 PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA TARJETA DE CONTROL.....	78
TABLA 32 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE TARJETA DE CONTROL	78
TABLA 33 CARACTERÍSTICAS DE PLACAS ARDUINO	79
TABLA 34 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO.....	82
TABLA 35 PONDERACIÓN DE CONTROL PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO	82
TABLA 36 PONDERACIÓN DE COSTO PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO	82
TABLA 37 PONDERACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO	83
TABLA 38 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ACTUADORES DE MOVIMIENTO.....	83

TABLA 39 PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE BRAZO	85
TABLA 40 PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE CABEZA	87
TABLA 41 PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE CUELLO.....	89
TABLA 42 TORQUE REQUERIDO PARA SERVOMOTORES	90
TABLA 43 CARACTERÍSTICAS DE SERVOMOTOR MG995.....	91
TABLA 44 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO	93
TABLA 45 PONDERACIÓN DE COSTO PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO	93
TABLA 46 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO.....	93
TABLA 47 PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO.....	94
TABLA 48 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO	94
TABLA 49 CARACTERÍSTICAS AMPLIFICADOR.....	95
TABLA 50 CARACTERÍSTICAS MICRÓFONO.....	96
TABLA 51 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA HMI ESPECIALISTA	98
TABLA 52 PONDERACIÓN DE COSTO PARA HMI ESPECIALISTA.....	99
TABLA 53 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA HMI ESPECIALISTA	99
TABLA 54 PONDERACIÓN DE CONTROL PARA HMI ESPECIALISTA	99
TABLA 55 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE HMI ESPECIALISTA	100
TABLA 56 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA APARIENCIA.....	103
TABLA 57 PONDERACIÓN DE INTERACCIÓN PARA APARIENCIA	103
TABLA 58 PONDERACIÓN DE FUNCIONALIDAD PARA APARIENCIA	104
TABLA 59 PONDERACIÓN DE FACILIDAD DE FABRICACIÓN PARA APARIENCIA	104
TABLA 60 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE APARIENCIA.....	104
TABLA 61 CARACTERÍSTICAS TABLET	106
TABLA 62 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA HMI PACIENTE	108
TABLA 63 PONDERACIÓN DE COSTO PARA HMI PACIENTE	108
TABLA 64 PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA HMI PACIENTE.....	109
TABLA 65 PONDERACIÓN DE CONTROL PARA HMI PACIENTE.....	109
TABLA 66 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE HMI PACIENTE	109
TABLA 67 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	114
TABLA 68 PONDERACIÓN DE COSTO PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	114
TABLA 69 PONDERACIÓN DE PRECISIÓN PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	114
TABLA 70 PONDERACIÓN DE ROBUSTEZ PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	115
TABLA 71 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	115
TABLA 72 ESPECIFICACIONES DE CÁMARA WEB.....	116
TABLA 73 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA.....	118
TABLA 74 PONDERACIÓN DE COSTO PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA	118
TABLA 75 PONDERACIÓN DE TAMAÑO PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA.....	119

TABLA 76 PONDERACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA	119
TABLA 77 CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE CAPACIDAD ENERGÉTICA.....	119
TABLA 78 CARACTERÍSTICAS DE MÓDULO ELEVADOR DE VOLTAJE	120
TABLA 79 PRUEBAS DIMENSIONES	132
TABLA 80 PRUEBA DE MOVIMIENTO	133
TABLA 81 PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE MOVIMIENTO	134
TABLA 82 PRUEBA DE COMUNICACIÓN	137
TABLA 83 RESULTADOS DE LA ENCUESTA INTERFAZ ESPECIALISTA.....	138
TABLA 84 RESULTADOS DE LA ENCUESTA INTERACCIÓN PACIENTE.....	141

RESUMEN

En el presente trabajo se diseña y construye un robot interactivo cuyo objetivo es el tratamiento de personas con trastorno del espectro autista (TEA). Se desarrolló un robot de apariencia agradable, con las características principales de la robótica social para interactuar con seres humanos mediante expresiones, movimientos y sonido. La primera parte del trabajo, la cual se trata de los capítulos 1 y 2, se describe a la robótica y a su rama la robótica social. Involucran tópicos como tele-operación y proceso de imágenes que intervienen en la visión artificial. Al concluir esta parte se detalla al sistema de código abierto, conceptualizando al hardware y software libre. La segunda parte se refiere al capítulo 3, se centra en el desarrollo de las alternativas de diseño. El robot interactivo presenta una estructura modular, que forma un sistema abierto donde cada elemento funcional puede ser reemplazado, sin que exija un cambio en los demás elementos. El control es desarrollado en *Processing* y cuenta con una interfaz gráfica de tele-operación del especialista y de control de movimiento del robot a través de un dispositivo periférico. Se realiza la implementación de visión artificial para la detección y seguimiento de rostro usando la librería *OpenCV* y el mismo entorno de *Processing*. La tercera parte se expone la construcción de la estructura final del robot, se detalla las pruebas realizadas a través del desarrollo de implementación y se evalúa la interacción del especialista con sus pacientes. Los resultados obtenidos en las pruebas y las evaluaciones revelan que la interacción es continua y que el diseño entra en el rango de aceptación de los pacientes con TEA.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBÓTICA SOCIAL**
- **TRATAMIENTO TEA**
- **TELE-OPERACIÓN**
- **OPEN SOURCE**

ABSTRACT

In the present work it is designed and built an interactive robot whose objective is the treatment of people with autism spectrum disorder (ASD). A robot with pleasant appearance, with the main features of social robotics, interacts with humans through expressions, movements and sound. The first part of the work, which is Chapters 1 and 2, describe robotics and its branch of social robotics. It involves topics such as tele-operation and image processing involved in artificial vision. Concluding this part it is detailed the open source system, conceptualizing the hardware and free software. The second part refers to Chapter 3 which focuses on the development of design alternatives. The interactive robot has a modular structure, which is an open system where each functional element can be replaced without requiring a change in the other elements. Control is developed in Processing and has a graphical interface specialist tele-operation and motion control of the robot through a peripheral device. The implementation of artificial vision for the detection and face tracking is performed using the OpenCV library and the same environment Processing. The third part of the construction of the final structure of the robot is exposed, tests through the development and implementation specialist interaction with patients evaluated is detailed. The results obtained in the tests and evaluations show that the interaction is continuous and that the design falls within the acceptance range of patients with ASD.

KEYWORDS:

- **SOCIAL ROBOTICS**
- **TREATMENT ASD**
- **TELEOPERATION**
- **OPEN SOURCE**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo muestra una introducción de los conceptos generales sobre los que se fundamenta el proyecto en desarrollo. Constará de una descripción precisa, de modo que sirva para comprender el por qué se ha planteado este proyecto como tema de investigación. Se habla acerca de trabajos similares realizados alrededor del mundo. También se define el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto. Se plantea los límites del proyecto de investigación en el alcance, separando los aspectos que están dentro de la investigación y aquellos que se relegan para futuros proyectos. Seguidamente se da una justificación y la importancia del estudio del proyecto de investigación y para finalizar se describe la estructura del presente documento.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El avance de la tecnología y la robótica en nuestro país se ha visto dividido entre el campo industrial y el campo educativo. La robótica industrial no ha tenido un avance significativo en aportaciones de nuestro país, sin embargo, el avance de la robótica por los centros de educación superior es indudable desde ya hace unos años atrás. El desarrollo de la robótica ha sido plasmado gracias a las aportaciones con proyectos e investigaciones que se han realizado en algunas universidades alrededor del Ecuador, pero no dirigido al tratamiento de un trastorno generalizado del desarrollo. El desarrollo de la robótica en otros países se ha enfocado en el tratamiento de un grupo de trastornos del desarrollo cerebral denominado trastorno del espectro autista (TEA). Existen muchas terapias para los problemas con TEA.

Actualmente en Ecuador no existe un censo oficial sobre la población con TEA. Sin embargo, algunas fundaciones privadas (dedicadas únicamente al TEA) están realizando sus propias estadísticas, por ejemplo, Ligia Noboa de “Entra a mi Mundo” [1] estima que hay 180000 niños con TEA. Dicho dato no es oficial ya que no ha sido corroborado por ninguna entidad gubernamental.

Es complicado analizar el autismo a nivel nacional ya que es un tema no muy conocido por los ciudadanos y son pocas fundaciones, centros educativos y expertos que lo tratan. Las personas que tienen TEA se caracterizan primordialmente por el deterioro social de la creación de redes de comunicación, la resistencia al cambio y la situación restringida repetitiva de comportamientos [2].

Teniendo en cuenta esta situación, el problema se resume en el diseño y construcción de un robot interactivo que ayude al especialista a crear un puente hacia el paciente con TEA para poder realizar un tratamiento. Cada paciente con TEA es diferente, por ende, algunos métodos resultan efectivos en algunos pacientes y en otros no. Por esta razón, el especialista a través del robot interactivo abarcará a cada paciente de forma diferente.

1.2. ANTECEDENTES

La robótica es una ciencia que ha tenido un precipitado desarrollo a partir de sus inicios en la década de los 60s y desde entonces ha continuado el interés por el desarrollo y la innovación. La evolución de este campo ha permitido la creación de sistemas artificiales que sean capaces de ejecutar tareas usualmente realizadas por el hombre.



FIGURA 1. TAREAS DE ROBOTS: A) LÍNEAS DE PRODUCCIÓN, B) ÁREA MILITAR, C) ÁREA DOMÉSTICA, D) ÁREA ESPACIAL

Fuente: [3], [4], [5], [6]

Los robots son máquinas electromecánicas guiadas por un algoritmo computacional, en resumen, es un sistema artificial. Los robots son usados hoy en día para llevar a cabo tareas sucias, peligrosas, difíciles, repetitivas o embodadas para los humanos. Se han enfocado más a la utilización de estos robots en las industrias en sus líneas de producción; en el área militar para exploración, búsqueda, rescate de personas y localización de minas o bombas; en la exploración espacial y un poco para solventar tareas del hogar, como se puede observar en la figura 1.

El TEA es un trastorno generalizado del desarrollo de origen neuropatológico. El diagnóstico es clínico y afecta cualitativamente a diversas funciones psicológicas: Interacción social, comunicación verbal y no verbal, modos de comportamiento rígido, inflexible, presentando un patrón de intereses restringidos y patrones estereotipados de conducta [7]. El “trastorno de un espectro”, significa que afectan de manera distinta a cada persona y pueden ser desde muy leves a graves. Las personas con TEA suelen tener asociados otros rasgos entre los cuales se puede destacar: retraso mental (75%), problemas de conducta, estados de agitación, ansiedad, depresión, trastornos de alimentación, trastornos del sueño, trastornos de

acción motriz. presentan algunos síntomas similares, como problemas de interacción social [8]. Pero hay diferencias en el momento en que aparecen los síntomas, su gravedad y naturaleza exacta. Los síntomas aparecen, afectando algunas funciones psicológicas descritas anteriormente, durante los primeros tres años de vida [9]. El trastorno del espectro autista se encuentra representado por el isotipo de un lazo con diseño de un puzzle y está hecho de tres colores distintos: rojo, azul y amarillo, como se puede ver en la figura 2. Esa especie de rompecabezas en el que se insertan estos colores hace referencia a la complejidad y el misterio que envuelve este trastorno. Los diferentes colores se refieren a la diversidad de personas autistas que existen en el mundo, al igual que sus familias, entorno y personas que le rodean [10].



FIGURA 2. ISOTIPO DEL TEA

Fuente: [11]

La historia de la robótica terapéutica se remonta a los años 80'. En los últimos años los investigadores han comenzado a explorar el uso de robots para alcanzar los objetivos terapéuticos específicos para niños con autismo. Robots y otras tecnologías se han sugerido como herramientas para ayudar en el diagnóstico precoz del autismo, la mayoría de la investigación por el doctor John-John Cabibihan, doctor en robótica biomédica, se centra en los robots en desarrollo enfocados para tareas terapéuticas que van más allá de la detección y el diagnóstico [12].



FIGURA 3. MUÑECA ROBOT - ROBOTA

Fuente: [13]



FIGURA 4. ROBOT HIJO - KASPAR

Fuente: [14]

Para abordar la cuestión de la generalización de los robots, algunos investigadores han desarrollado plataformas robóticas humanoides que son extremadamente realistas, mientras que otros han construido robots que no tienen una apariencia humanoide. Investigadores de la Universidad de Hertfordshire, por ejemplo, han utilizado: no humanoides, robots móviles; un robot de muñeca, Robota; y un humanoide, hijo de tamaño robot, KASPAR, en sus estudios de autismo [15], [16], como se puede ver en las figuras 3 y 4 respectivamente. Robota se ha desarrollado específicamente para servir como juguete educativo. Esta muñeca robot se enfoca a ayudar a niños con autismo a aprender a reaccionar ante expresiones faciales, movimientos y sonidos [17]. KASPAR es un robot de tamaño infantil diseñado para su uso como un mediador social. Ayuda a niños con autismo a interactuar y comunicarse mediante una serie de juegos que consiste en expresiones faciales, movimientos de brazos, cabeza y ojos; y dice frases, se ríe o se lamenta [18].



FIGURA 5. ROBOT DINOSAURIO-PLEO

Fuente: [19]

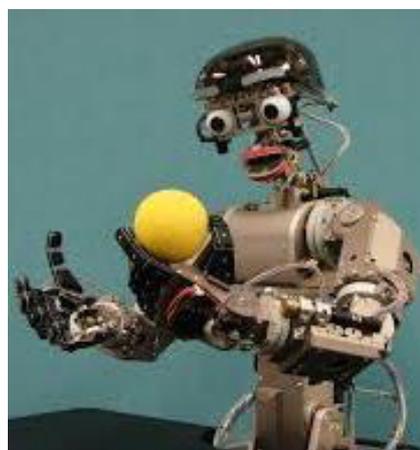


FIGURA 6. ROBOT INFANOID

Fuente: [20]



FIGURA 7. ROBOT MUÑECO – KEEPON

Fuente: [21]

Investigadores de la Universidad de Yale han utilizado un robot dinosaurio, Pleo [22], ver figura 5. Pleo es una mascota virtual en forma de un Camarasaurio pequeño. El robot ayuda a niños con autismo y al adulto mayor en rehabilitaciones. El pequeño dinosaurio responde al contacto y a la voz lo cual ayuda a la interacción con los pacientes. Los investigadores en Japón han utilizado una máquina robot mecánico, Infanoid [23], ver figura 6, es un robot de tamaño real de un niño de 3-4 años. Se enfoca en terapias para personas con alguna discapacidad. En niños con autismo se caracteriza en el tratamiento de interacción social mediante expresiones faciales, reconocimiento de objetos e imitaciones de movimientos y de voz. Los investigadores también han utilizado un pequeño robot muñeco de aspecto, Keepon [23], como se puede observar en la figura 7. Keepon es una herramienta terapéutica eficiente a la hora de trabajar en niños con autismo. Ayuda a la estimulación y concentración de los niños. Se enfoca en realizar un contacto vial directo mediante sus movimientos al contacto o sus movimientos al ritmo de la música.

Investigadores de la Universidad de Pisa han utilizado un robot realista, FACE [24] ver figura 8. FACE tiene la función de comprensión del entorno en el que se encuentre y responder con un comportamiento apropiado para facilitar la inclusión de los robots en la vida cotidiana de las personas. Mientras que los investigadores de la Universidad de Sherbrooke y Toyota han utilizado robots humanoides menos realistas en sus estudios, como Tito y HOAP-3 [[25], [26]] como se puede ver en las figuras 9 y 10 respectivamente. Tito es un robot de interacción con niños con

autismo. Las funciones consisten en expresiones faciales, movimientos corporales y actividades familiares como metodología para el tratamiento a niños con autismo [27]. HOAP-3 se trata del primer robot capaz de aprender y, hasta cierto punto comprender sus acciones. Al ser un robot multifuncional se lo ha utilizado para un sin número de proyectos y estudios en diferentes universidades y laboratorios. Entre los cuales se puede destacar que se han programado los HOAP-3 con funciones para jugar la versión arcade de pong, dibujar retratos, cocinar tortillas y estudiar redes neuronales [28].



FIGURA 8. ROBOT REALISTA – FACE

Fuente: [29]



FIGURA 9. ROBOT TITO

Fuente: [30]



FIGURA 10. ROBOT HOAP-3

Fuente: [31]

Los proyectos antes mencionados nos dan una clara idea sobre los robots humanoides y no humanoides. Un robot humanoide es un robot que se basa en la estructura general y aspecto de un ser humano, mientras que un robot no humanoide no tiene un aspecto de un ser humano [32].

El avance de la robótica en nuestro país es indudable desde ya hace unos años atrás. El desarrollo de la robótica ha sido plasmado gracias a las aportaciones con

proyectos e investigaciones que se han hecho en algunas universidades alrededor del Ecuador. En el Campus Party realizado en el 2011 se debatieron varios temas, entre los cuales fue “El robot se convierte en el mejor amigo del hombre” en el cual el robot como amigo del hombre se traducen en máquinas que, a través de sus gestos “enseñan a interactuar a niños autistas”, con acciones como “abrazar o tocar” [33], el debate de estos temas dio una idea clara sobre la ventaja de utilizar robots para el acercamiento hacia los pacientes con TEA.

En el 2013 dos estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito presentaron su proyecto llamado “Mael” que está enfocado en prestar ayuda social para niños con autismo [34]. El proyecto Mael consiste en una muñeca que implementaron algunos motores para que realice movimientos, ver figura 11. Con una aplicación en una Tablet el niño con autismo debía identificar la figura geométrica que tiene la muñeca en las manos. Si es correcto la muñeca levanta las manos con la figura e identifica el nombre de la figura, si no es correcto no levanta los brazos [35]. Este proyecto no ha sido enfocado con fines terapéuticos. El proyecto se enfoca en fomentar el desarrollo cognitivo, pero no ha sido analizado en pacientes con TEA.



FIGURA 11. PROYECTO MAEL
Fuente: [36]

En el 2014 Daniel Vallejo estudiante de la Escuela Politécnica del Chimborazo presento su proyecto robot humanoide que consiste en crear un enlace entre niños con autismo y los especialistas que tratan sus casos [37], ver figura 12. El especialista a través del robot va a poder acercarse al paciente, creando un vínculo

para que pueda acceder a un tratamiento con el paciente. Al concluir este proyecto no se ha enfocado con fines terapéuticos. Este proyecto se ha enfocado en concursos de robótica de destreza y habilidad.



FIGURA 12. ROBOT HUMANOIDE DE DANIEL VALLEJO

Fuente: [38]

En el 2015 Carlos David Ruales estudiante de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga presentó su proyecto que consiste en la construcción de un rostro robótico con apariencia humana facilitando la realización de roboterapia a las personas con problemas de autismo [39]. El aspecto negativo de este proyecto es que el rostro robótico tiene apariencia de un hombre maduro, como se puede observar en la figura 13. Este aspecto dificulta la realización de las terapias, ya que los pacientes con TEA tienen claros problemas con la interacción social.



FIGURA 13. ROBOT HUMANOIDE - K LU K

Fuente: [40]

Existen pocos robots que son dedicados especialmente para el tratamiento de personas con el trastorno del espectro autista. En otros países el costo de un robot varía desde 500 hasta 6000 dólares. En el país se han desarrollado pocos proyectos relacionados para niños con autismo, como se detalló anteriormente, pero no a nivel terapéutico, si no solo como proyectos de desarrollo para concursos y festivales tecnológicos.

1.3. OBJETIVO

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un robot interactivo de dos grados de libertad para el tratamiento de personas con el espectro autista.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un sistema mecánico para el movimiento de dos grados de libertad del robot interactivo de bajo costo y tecnología abierta.
- Desarrollar una interfaz para el control del robot y monitoreo del paciente por parte del especialista.
- Evaluar el tratamiento para personas con el espectro autista para la interacción con el robot y el especialista.

1.4. ALCANCE

Los pacientes con TEA tienen problemas significativos al comenzar un acercamiento con otras personas por lo que afecta la interacción con otros [41]. Al empezar un tratamiento con un robot con apariencia similar a un ser humano no va a

existir una interacción paciente-robot. Hay que tener en cuenta que el paciente con TEA no pierda el interés en el robot, en definitiva, el robot no debe poseer una apariencia similar al ser humano.

El robot debe estar provisto con una cámara para la interacción con el paciente con el trastorno del espectro autista. A través de esta cámara se puede realizar visión artificial para que el robot detecte y siga el rostro del paciente. La detección y seguimiento de rostro logrará que el paciente con TEA juegue con el robot a través de movimientos de la cabeza.

En la pantalla del robot se desarrolla una interfaz para el paciente, que tendrá interacción con juegos, colores, sonidos y movimientos. Para la interacción con la interfaz se realizará por medio del sistema alternativo de comunicación mediante el cual se implementará los sistemas representativos (PECS y el SPC) ya que los pacientes con TEA procesan mucho mejor la información visual, espacial y concreta, teniendo más dificultades para manejar la información no visible, temporal y abstracta [42]. Dicha interacción del paciente con el robot permitirá al terapeuta realizar una evaluación y determinar el tipo de tratamiento correcto para el paciente.

El robot será teleoperado por el especialista, podrá controlar al robot y a la interfaz de la pantalla para realizar el tratamiento específico para cada paciente a través de una computadora lejos del lugar donde se encuentra el paciente con el robot, por lo cual tendrá acceso al monitoreo de las actividades del paciente con el robot, así el paciente podrá comportarse naturalmente sin la interacción de terceros. Con el tratamiento el paciente ira mejorando sus habilidades y la relación con terceros, permitiendo así mejorar su calidad de vida.

Además, con la realización de este proyecto se pretende que el impacto del desarrollo tecnológico en los tratamientos del autismo fuese mayor, contribuyendo en la investigación y el desarrollo de proyectos de la Universidad para la sociedad, evitando así los altos costos de importación que representa la compra de los robots sociales para tratamiento del exterior.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de este robot interactivo ayuda al tratamiento de personas autistas para la inclusión y la equidad en la sociedad. En nuestro país este tipo de trastorno neurológico no es tan conocido y no saben cómo tratarlo. En el Ecuador existen algunos centros que tratan este tipo de trastorno con los tratamientos tradicionales que abarcan los programas conductuales, programas de enseñanza y aprendizaje, programas de diferentes tipos de terapia y el programa de medicamentos; pero no con un desarrollo tecnológico, como lo es un robot interactivo, en el tratamiento del paciente.

En el Ecuador no se ha hecho un censo oficial sobre la población autista, como ocurre en mayoría de países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Dicho acontecimiento podría demostrar que el CONADIS (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades) no ha tenido, durante su funcionamiento, una idea clara sobre este tipo de trastorno, ya que en su registro nacional de discapacidades no estipula el autismo como una de ellas, solo detalla las discapacidades auditivas, físicas, intelectuales, de lenguaje, psicológicas y sociales, sin reconocer a las personas que padecen este trastorno, a no ser que se las clasifique simultáneamente en algunas de las categorías antes descritas. Actualmente esta clasificación se está ejecutando bajo la responsabilidad del Ministerio de Salud Pública, que debido al Plan Nacional del Buen Vivir, funciona como organismo rector del Sistema de Salud, regulando temas como el registro de discapacidades, clasificación e identificaciones en el carnet, actualizándose dicho registro con el Manual de Diagnóstico y Estadísticas de Desórdenes Mentales [43].

Principales entidades gubernamentales desconocen la problemática, si instituciones como el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) o el CONADIS no tienen registro ni poseen alguna estadística sobre este trastorno en nuestro país [43]. “En Ecuador no hay una sola escuela pública de autismo, solo hay privadas con valores superiores a los \$ 150 mensuales, que para quienes viven con los valores de la canasta básica es imposible de pagar”, reconoció la Dra. Paola Zambrano, Presidenta de Autismo Ecuador, en una entrevista [44]. Por dichas razones el problema específico a tratar en este proyecto es el desconocimiento social,

desconocimiento que trasciende a nivel de los tratamientos, a crear un medio para ayudar y perfeccionar las terapias. A través de la investigación, he podido identificar importantes ausencias y desconocimiento de la robótica terapéutica en este campo.

Los terapeutas para el tratamiento de pacientes con TEA deben adaptar el sistema a cada paciente y no al revés, ya que cada paciente con autismo es diferente. La interacción entre los especialistas y los pacientes con TEA difiere en cada uno, puede ser desde una interacción buena desde el comienzo a no poder interactuar con el paciente. Los robots sociales son adecuados para el tratamiento de pacientes con autismo gracias a la sencillez en la interacción además de que sus acciones son repetibles y pueden ser modificadas para satisfacer los requisitos de diferentes pacientes [12].

El robot interactivo actuará como un puente entre el paciente con TEA y el terapeuta. Se utilizará como una herramienta para el tratamiento del trastorno neurológico-autismo. El tratamiento consiste en la interacción del robot con el paciente a través de una pantalla mediante juegos, colores, sonidos y movimientos. Además, la interacción y las acciones que desarrolle el paciente con el robot van a ser teleoperado por el terapeuta a través de un computador.

Otro enfoque que pretende atacar este proyecto es contribuir a la investigación en la universidad a través del uso de nuevas tecnologías, Open Source, que consiste en la capacidad que tienen los desarrolladores de leer, redistribuir y modificar el código fuente de una aplicación. Con lo cual se obtendrá un robot de bajo costo. Las tecnologías de hardware y software de código abierto es lo que beneficiará a este proyecto la reducción de costos y permitirá realizar modificaciones de forma más sencilla.

1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se estructura en cinco capítulos. El primer capítulo fundamenta el desarrollo del proyecto, define los objetivos planteados y la justificación e importancia del proyecto de investigación. El segundo capítulo nos da una visión general sobre el TEA, los robots sociales y la robótica terapéutica; seguido por una

descripción de la clasificación del tipo de configuración general de los robots y los aspectos importantes del sistema de código abierto.

El tercer capítulo describe la importancia de diseño óptimo en ingeniería, aborda la metodología de diseño que se va a utilizar, las especificaciones del robot y la generación, selección y descripción de los conceptos. También en este capítulo se describe la estructura del diseño mecánico, electrónico e interfaz humano-máquina.

El cuarto capítulo presenta los detalles de construcción seguido por las pruebas de funcionamiento técnico y las pruebas de funcionamiento con pacientes con TEA. El capítulo cinco habla sobre el análisis de resultados avalado por especialistas y los resultados obtenidos en los pacientes con TEA.

Por último, se presentan las conclusiones obtenidas del proyecto de investigación, se indican las recomendaciones para futuros trabajos a realizar.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se describe los aspectos más primordiales sobre el trastorno del espectro autista. También se analiza y describe tanto los robots sociales como la robótica terapéutica. Se resalta la clasificación del tipo de configuración general de los robots. Por último, se describe los aspectos importantes del sistema de código abierto.

2.1. TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA

2.1.1. *Origen del término*

El término autismo significa “encerrado en uno mismo”. El psiquiatra suizo Eugen Bleuler fue el primero en emplear dicho término con esta denotación [45]. En 1911, utilizó el término para referirse al aislamiento observado en pacientes con esquizofrenia.

Hubo que esperar hasta la mitad del siglo XX para que se publicaran los primeros trabajos sobre lo que se conoce como trastornos generalizados del desarrollo. En 1943 Leo Kanner, psiquiatra austriaco, publicó su trabajo de 5 años de investigación al que tituló “*Autistic Disturbances of Affective Contact*” (Alteraciones autísticas del contacto afectivo). Kanner hace referencia en el último párrafo de su estudio, a la característica primordial de este trastorno: “estos niños han venido al mundo con una inhabilidad innata para generar el contacto afectivo con las personas que normalmente proporciona la biología, de la misma manera que otros niños vienen al mundo con carencias intelectuales o físicas” [46]. Esta característica es lo que inducía a Kanner a afirmar que se trataba de un trastorno diferente a la esquizofrenia, ya que los síntomas se producen desde el momento del nacimiento.

Hans Asperger, pediatra austriaco, después de tratar a un elevado número de niños que presentaba ciertas alteraciones de personalidad, en 1944 publicó su trabajo “*Die Autistischen Psychopathen im Kindesalter*” (Psicopatía autística en la infancia). Asperger en su publicación explica que escogió la etiqueta autística para definir lo que él considera que es el trastorno básico que genera la estructura de personalidad de estos niños [47]. Ni Kenner ni Asperger no tenían ningún conocimiento de los trabajos del otro, sus investigaciones mantienen muchos paralelismos, por ejemplo el uso de la palabra autismo.

Los trabajos de Asperger estuvieron escritos en alemán y limitó su difusión, lo cual provocó que hasta que no fueron traducidos al inglés en 1981 por Lorna Wing, no se empleara el término de síndrome de Asperger de forma sistemática para denominar a lo que se había venido llamando “psicopatía autística” [46]. La Dra. Lorna Wing publicó en la revista “*Asperger’s Syndrome A clinical account*” aclarando que el término de “espectro autista” creado por ella y Judith Gould, marcara una diferencia para que los niños con síndrome de asperger no sean considerados parte del autismo y sin embargo necesiten un tratamiento similar [48].

Tomando como referencia la clasificación de la Asociación Americana de Psiquiatría (APA), en 1980 el autismo apareció por primera vez como una entidad separada en el DSM-III. Posteriormente, en 1987, el DSM-III-R aumentó los criterios para el diagnóstico de autismo y añadió la categoría de Trastornos Generalizados del Desarrollo no Especificados (TGD-NOS), la cual incluía ya la idea de espectro dentro de la manifestación del trastorno autista. Cabe mencionar aquí la traducción, un tanto desafortunada, que se realizó de lo que en inglés se vino a llamar *Pervasive Developmental Disorders-not otherwise specified*, donde el término *pervasive* (penetrante) fue traducido por generalizado. Los cambios introducidos en el DSM III-R fueron criticados por conllevar un sobre diagnóstico del trastorno. Sin embargo, la siguiente versión en 1994 13 (DSM-IV) incluyó el Trastorno de Asperger en los TGD [49]. En el DSM-IV-TR (2000) bajo la denominación Trastornos Generalizados del Desarrollo (TGD), se incluyen las siguientes categorías: Trastorno Autista, Trastorno de Asperger, Trastorno de Rett, Trastorno Desintegrativo Infantil y Trastorno Generalizado del Desarrollo no Especificado. En

el 2013 se publicó la quinta versión, el DSM 5 en el cual solo existe una categoría, Trastorno del Espectro Autista, con tres niveles de gravedad, y de la que desaparece el trastorno de Rett.

2.1.2. Criterios y Especificaciones de gravedad del TEA

La definición de autismo en el DSM-IV fue liderada por Fred Volkmar de la Universidad de Yale, que se basó en el estudio de unos 1000 casos. La definición para el DSM-5 está liderada por Francesca Happé del Kings' College de Londres; en esta versión se ubican en una única categoría todos los TEA. Para ello se combinan y reducen criterios, simplificando enormemente el número de combinaciones que pueden dar lugar a un diagnóstico de TEA. A continuación se presentan los criterios diagnósticos que se deben tomar en cuenta de acuerdo al DSM 5 y las características del TEA estipuladas en esta versión [50]:

TABLA 1

CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO DEL TEA

Trastorno del Espectro del Autismo 299.00 (F84.0)

Criterios diagnósticos

A. Déficits persistentes en comunicación social e interacción social

- Déficits en reciprocidad socio-emocional
- Déficits en conductas comunicativas no verbales usadas en la interacción social
- Déficits para desarrollar, mantener y comprender relaciones

B. Patrones repetitivos y restringidos de conductas, actividades e intereses

- Movimientos motores, uso de objetos o habla estereotipados o repetitivos.
- Insistencia en la igualdad, adherencia inflexible a rutinas o patrones de comportamiento verbal y no verbal ritualizado
- Intereses altamente restringidos, obsesivos, que son anormales por su intensidad o su foco
- Hiper- o hipo-reactividad sensorial o interés inusual en aspectos sensoriales del entorno

C. Los síntomas deben estar presentes en el período de desarrollo temprano

D. Los síntomas causan alteraciones clínicamente significativas

E. La discapacidad intelectual y el trastorno del espectro de autismo con frecuencia coocurren; para hacer un diagnóstico de comorbilidad de trastorno del espectro de autismo y discapacidad intelectual, la comunicación social debe estar por debajo de lo esperado en función del nivel general de desarrollo.

Fuente: [51]

En la Tabla 1 se enlista los criterios diagnósticos del Trastorno del espectro del autismo, en el ítem (A) del déficit persistentes de la comunicación social e interacción social se puede resaltar algunos síntomas:

- Acercamientos sociales inusuales
- Problemas para mantener el flujo de ida y vuelta normal de las conversaciones.
- Disposición reducida por compartir intereses, emociones y afecto.
- Fallo para iniciar la interacción social o responder a ella.
- Dificultad para integrar conductas comunicativas verbales y no verbales.
- Anomalías en el contacto visual y el lenguaje corporal o déficits en la comprensión y uso de gestos.
- Falta total de expresividad emocional o de comunicación no verbal
- Dificultades para ajustar el comportamiento para encajar en diferentes contextos sociales.
- Dificultades para compartir juegos de ficción o hacer amigos.
- Ausencia aparente de interés en la gente.

De la misma Tabla 1 en el ítem (B) de los patrones repetitivos y restringidos de conductas, actividades e intereses se puede resaltar algunos síntomas:

- Movimientos motores estereotipados simples.
- Alinear objetos, dar vueltas a objetos.
- Frases idiosincrásicas.
- Malestar extremo ante pequeños cambios.
- Dificultades con las transiciones.
- Patrones de pensamiento rígidos.
- Rituales para saludar.
- Necesidad de seguir siempre el mismo camino o comer siempre lo mismo.

Los individuos con un diagnóstico DSM-IV bien establecido de trastorno autista, síndrome de Asperger o trastorno generalizado del desarrollo no especificado, deben recibir el diagnóstico de trastorno del espectro de autismo. Los individuos que tienen marcados déficits en comunicación social, pero cuyos

síntomas no cumplen los criterios para el trastorno de espectro de autismo, deberán ser evaluados para el trastorno de comunicación social (pragmática).

Se debe especificar si:

- Se acompaña o no de discapacidad intelectual.
- Se acompaña o no de un trastorno del lenguaje.
- Se asocia con una condición médica o genética o con un factor ambiental conocido.
- Se asocia con otro trastorno del neurodesarrollo, mental o del comportamiento.

Los especificadores de gravedad descritos en la Tabla 2 pueden utilizarse para describir la sintomatología actual (que podría ser más grave que el nivel 1), con el reconocimiento de que la severidad puede variar según el contexto y puede ser constante en el tiempo. La gravedad de las dificultades de comunicación social y restringida, comportamientos repetitivos, debe ser valorada por separado.

TABLA 2

NIVELES DE SEVERIDAD DEL TRASTORNO DEL ESPECTRO DE AUTISMO

Nivel de severidad	Comunicación social	Intereses restringidos y conducta repetitiva
Nivel 3: requiere un apoyo muy substancial	Déficits severos en habilidades de comunicación social verbal y no verbal que causan alteraciones severas en el funcionamiento, inicia muy pocas interacciones y responde mínimamente a los intentos de relación de otros.	La inflexibilidad del comportamiento, la extrema dificultad afrontando cambios u otros comportamientos restringidos/repetitivos. Gran malestar o dificultad al cambiar el foco de interés o la conducta.
Nivel 2: requiere un apoyo substancial	Déficits marcados en habilidades de comunicación social verbal y no verbal; los déficits sociales son aparentes incluso con apoyos; inician un número limitado de interacciones sociales; y responden de manera atípica o reducida a los intentos de relación de otros.	El comportamiento inflexible, las dificultades para afrontar el cambio, u otras conductas restringidas/repetitivas, aparecen con la frecuencia suficiente como para ser obvios a un observador no entrenado e interfieren con el funcionamiento en una variedad de contextos.

Nivel 1: requiere apoyo	Sin apoyos, las dificultades de comunicación social causan alteraciones evidentes. Muestra dificultades iniciando interacciones sociales y ofrece ejemplos claros de respuestas atípicas o fallidas a las aperturas sociales de otros.	La inflexibilidad del comportamiento causa una interferencia significativa en el funcionamiento en uno o más contextos. Los problemas de organización y planificación obstaculizan la independencia.
--------------------------------	--	--

Fuente: [51]

2.1.3. Clasificación del TEA

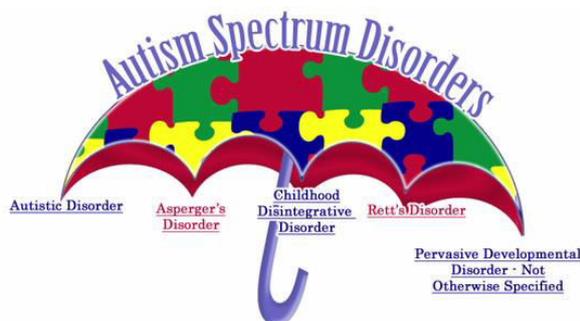


FIGURA 14. CLASIFICACIÓN DEL TEA

Fuente: [52]

El TEA engloba trastornos como Autismo de Kanner, Autismo Atípico, el Trastorno Desintegrativo Infantil y el Trastorno de Asperger [53].

- Trastorno Autista:

Es el trastorno más común dentro de las categorías del autismo y es conocido comúnmente como “autismo clásico” o “autismo típico” o “autismo de Kenner”. Se manifiesta antes de los tres años y se caracteriza por una alteración en las interacciones sociales, la comunicación y el juego imaginativo, además de presentar un patrón repetitivo y restringido de comportamientos, intereses y actividades.

- Síndrome de Asperger:

Se caracteriza por una alteración en las interacciones sociales y la presencia de actividades e intereses restringidos. Las personas diagnosticadas

con este tipo de TEA muestran un gran egocentrismo y graves problemas para poder expresar sus sentimientos y emociones, muestran conductas repetitivas y un gran apego a ciertos objetos y personas. No existe un retraso clínicamente significativo en las capacidades de comunicación como el habla y el lenguaje, y en algunos casos manifiestan una gran capacidad intelectual (coeficiente de inteligencia superior a la media). Podríamos destacar a Albert Einstein o Mozart como dos de los casos más conocidos de este tipo de autismo.

- Trastorno generalizado del desarrollo:

También conocido como “autismo atípico”. Este diagnóstico se produce cuando no se cumplen con ninguno de los criterios para un diagnóstico específico, pero hay una alteración severa y generalizada en algunas de las áreas o comportamientos que se caracterizan los distintos tipos de autismo.

- Trastorno desintegrativo infantil:

Es un raro trastorno caracterizado por un desarrollo normal, seguido posteriormente por una regresión que ocurre entre los tres y diez años de edad, lo cual provoca una pérdida significativa de las destrezas.

2.2. ROBÓTICA

La robótica es una ciencia que ha tenido un vertiginoso desarrollo a partir de sus inicios en la década de los 60s y desde entonces ha continuado el interés por el desarrollo y la innovación. La evolución de este campo ha permitido la creación de sistemas artificiales que sean capaces de ejecutar tareas usualmente realizadas por el hombre.

En la evolución de la robótica con todos y cada uno de los proyectos realizados en las diferentes ramas de aplicación, siguen con el concepto de crear una herramienta capaz de realizar funciones del ser humano de forma autónoma. Las herramientas son robots creados con diferentes tipos de configuración enfocándose en las funciones y aplicaciones que va a desarrollar.

En los últimos años ha habido un aumento de interés en algunas ramas de la robótica enfocada en la interacción con seres humanos, como son los robots enfocados en el área social y medicinal.

2.2.1. Configuración de los robots

El tipo de configuración general del robot, puede ser metamórfica. El concepto de metamorfismo, de reciente aparición, se ha introducido para incrementar la flexibilidad funcional de un robot a través del cambio de su configuración por el propio robot. El metamorfismo admite diversos niveles, desde los más elementales (cambio de herramienta o de efecto terminal), hasta los más complejos como el cambio o alteración de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales.

Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo la denominación genérica del robot, tal como se ha indicado, son muy diversos y es por tanto difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso. La subdivisión de los robots, con base en su estructura, se hace en los siguientes grupos: Poliarticulados, Móviles, Androides, Zoomórficos e Híbridos [54].

- *Poliarticulados*

En este grupo están los robots de muy diversa forma y configuración cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios (aunque excepcionalmente pueden ser guiados para efectuar desplazamientos limitados) y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo según uno o más sistemas de coordenadas y con un número limitado de grados de libertad.



FIGURA 15. ROBOT POLIARTICULADO

Fuente: [55]

- *Móviles*



FIGURA 16. ROBOT MÓVIL

Fuente: [56]

Son robots con grandes capacidad de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. Estos robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación.

- *Androides*



FIGURA 17. ROBOT ANDROIDE

Fuente: [57]

Son robots que intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemática del ser humano. Actualmente los androides son todavía dispositivos muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación.

- *Zoomórficos*



FIGURA 18. ROBOT ZOOMÓRFICO

Fuente: [58]

Los robots zoomórficos, que considerados en sentido no restrictivo podrían incluir también a los androides, constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos. A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores.

- *Híbridos*



FIGURA 19. ROBOT HIBRIDO

Fuente: [59]

Estos robots corresponden a aquellos de difícil clasificación cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado articulado y con ruedas, es al mismo tiempo uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos.

2.2.2. Robots sociales

Se define a un robot social como un robot capaz de interactuar con los seres humanos y otros robots. Todo robot social está constituido por 4 elementos esenciales. La parte física que es la estructura del robot, sobre la cual se encuentran los diferentes elementos como son bastidores y mecanismos necesarios. La parte reactiva conformada por los sensores y actuadores del robot. La parte deliberativa enmarca el grado de decisión del robot. Finalmente, la parte social se comunica con el alto nivel en su entorno [60]. Dautenhahn y Billard propusieron la siguiente definición: “Robots sociales son agentes que forman parte de encarnaban un grupo heterogéneo: una sociedad de robots o humanos. Ellos son capaces de reconocerse entre sí y participar en las interacciones sociales, poseen historias (percibir e interpretar el mundo en términos de su experiencia propia), y se comunican de forma explícita y aprender unos de otros” [61].

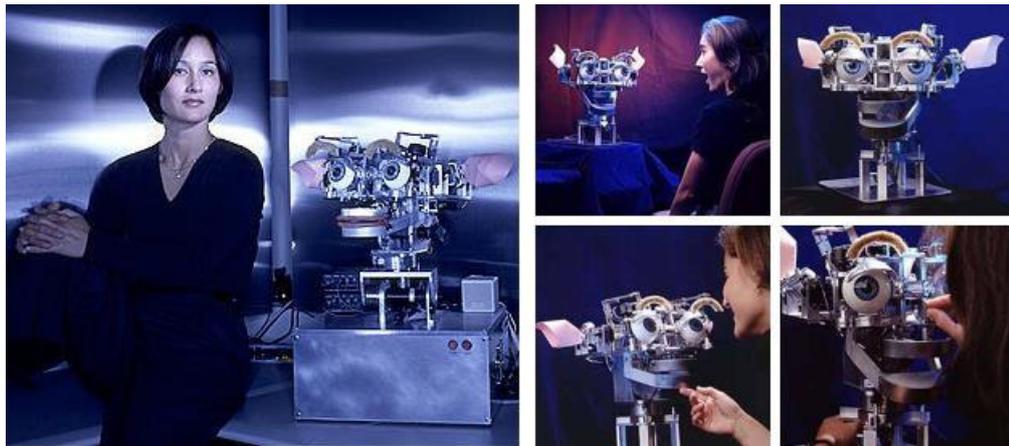


FIGURA 20. PRIMER ROBOT QUE MANIFIESTA EMOCIONES – KISMET

Fuente: [62]

El primer robot capaz de manifestar emociones, KISMET, fue presentado en el año de 1997, ver figura 15. La creadora fue Cynthia Breazeal, profesora en el MIT Massachusetts Institute of Technology de Boston, pionera de la robótica social. Autora del libro “Diseñando Robots Sociales” y especialista en robótica autónoma, inteligencia artificial e interacción robot-humano.

En los últimos tiempos ha habido un aumento de interés en una disciplina llamada robótica social. Tal como se usa aquí, robótica social no se refiere a grupos de robots que cooperan e interactúan unos con otros. Para nosotros, el adjetivo social se refiere a los humanos. Si bien la distinción puede ser mucho más difusa, la robótica social se refiere simplemente a interactuar con personas [63]. Socializar con humanos es definitivamente más difícil, fundamentalmente porque robots y humanos no comparten un lenguaje común ni perciben el mundo de la misma forma.

2.2.2.1. Características

En los robots sociales, la interacción social juega el rol más importante de su funcionamiento. Al fin de interactuar de manera adecuada, se especifican algunas características particulares [64]:

- Expresar y percibir emociones.
- Entender y reconocer los modelos de otros agentes.

- Ser capaces de comunicarse con las personas manteniendo diálogos de alto nivel.
- Establecer y mantener relaciones sociales.
- Usar un lenguaje natural (gestos, expresiones, etc.).
- Tener una personalidad y características propias.
- Aprender y desarrollar competencias sociales.

Son muchos los usos a los que se pueden destinar estos robots, dando lugar a una diversidad que abarca desde plataformas de desarrollo, hasta juguetes, herramientas didácticas o sistemas de asistencia médica entre otros. Está demostrado que los humanos preferimos interactuar con las máquinas de la misma forma en que lo haríamos con otras personas. De ahí el hecho de implementar características en ellos que den lugar a una interacción todo lo natural que sea posible [64].

2.2.2.2. Clasificación

Los robots sociales no siempre necesitan un cuerpo físico tal, y como lo entendemos las personas. Por ejemplo, los agentes de conversación pueden ser la realización del sistema en la misma extensión que un robot con capacidad limitada [65]. Como por ejemplo el nuevo robot es un robot que interactúa de forma “natural” con las personas mediante la tecnología de reconocimiento facial y de voz, ver figura 16.



FIGURA 21. ROBOT SOCIAL JIBO

Fuente: [66]

Los robots sociales son desarrollados con algún fin específico. En donde sus capacidades sociales le servirán para poder interactuar de mejor forma y dar un mejor servicio.

En [64] hace referencia a clasificación por la personalidad exhibida de los robots

- Juguetes, estos robots únicamente presentan un servicio específico, además de realizar ciertas rutinas asociadas a su construcción.
- Mascotas, exhiben comportamientos asociados a animales reales como perros y gatos.
- Caricaturesca, su conducta es exagerada la cual facilita la interacción con las personas.
- Artificial son robots con rasgo propios en su conducta y están íntimamente relacionados con la función que realicen.
- Humana, son los robots que presentaran una conducta y comportamiento similar a los humanos.

La clasificación de los robots aunque se basan en elementos técnicos como la arquitectura, el diseño de la interfaz y el software; también se enfoca al grado de interacción entre el humano y el robot. Según su interacción los robots se clasifican en [67]:

- Socialmente evocador: robots que se basan en costumbres de las personas, fomenta a antropomorfización de la tecnología, por ejemplo: en los juguetes donde se aprovecha un modelo de crianza para crear una interacción.
- Interfaces social: robots que proporcionan una interface natural mediante señales sociales humanas.
- Socialmente receptivo: robots socialmente pasivos pero que aprenden de la interacción con humanos.
- Sociables: robots que actúan activamente con los humanos para satisfacer sus necesidades sociales internas.

Teniendo en cuenta a la clasificación anterior, hay que destacar que se realiza hincapié en una interacción según la aplicación para lo que fueron creados. Por lo que los robots sociales se clasifican en [68]:

- Robots sociales para la investigación
- Robots sociales para el entretenimiento
- Robots sociales terapéuticos
- Robots sociales para la asistencia

Dada la clasificación anterior, se especificará sobre los robots sociales terapéuticos que está estrechamente relacionado con el proyecto en desarrollo.

2.2.3. Robótica social terapéutica

En el campo de la robótica la rama de la medicina ha sido el que ha abarcado desde hace décadas, ya sea procedimientos quirúrgicos, terapias de neuro-rehabilitación, reemplazo de miembros perdidos, terapias a niños con problemas de aprendizaje, realizar procedimientos o tareas relacionadas con esta área.

En la robótica social terapéutica es importante reavivar en las personas los conocimientos y las experiencias vividas mediante la interacción con los robots y despertar los mismos sentimientos que cuando se relacionan con otras personas. Así pues, los robots deben tener formas, sensaciones táctiles, conductas autónomas y respuestas que imiten a las de las personas. Por otra parte, los dispositivos se utilizan no solo en hogares, sino también en consultorios. Los robots deberían gozar de rápida aceptación por parte de las personas, además de ser inofensivos e higiénicos. Un aspecto que preocupa en relación con estos robots es la posibilidad de que las personas interactúen físicamente con ellos tocándolos y abrazándolos, lo cual no debería causar lesiones [69].



FIGURA 22. KEEPON

Fuente: [70]

KEEPON, ver figura 22, apoya el tratamiento de pacientes con trastornos del espectro autista. El terapeuta va controlando el robot para facilitar la interacción social con el paciente. También es una herramienta de grabación en el consultorio, laboratorio o sala de juegos [70]. En otras palabras, el robot busca tener una participación positiva con los pacientes que tienen una conducta social abrupta.



FIGURA 23. PROYECTO THERAPIST

Fuente: [71]

Investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) en colaboración con la Universidad de Málaga, la Universidad de Extremadura y el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla, han desarrollado un robot terapéutico para la rehabilitación motriz para niños. El sistema es social, interactivo y totalmente autónomo. Además, es capaz de percibir las reacciones del paciente y determinar si

hace correctamente sus ejercicios. Este avance, realizado en el marco del proyecto científico *Therapist*, ver Figura 23, propone un método terapéutico dinamizado por un robot que parece un juguete para evitar así que la desmotivación impida la recuperación de los menores. La herramienta ya ha sido evaluada por más de cien niños que han asegurado que la terapia es "divertida" y "atractiva", por lo que el robot es una excelente herramienta para mejorar la adhesión al tratamiento [71].



FIGURA 24. ROBOT PARO

Fuente: [72]

Paro, como se puede observar en la Figura 24, está dotado de sensores que le permiten responder al estímulo humano. Si la alzas, acaricias, rascas o mimas, responderá en consecuencia. El pelo es muy acariciable y todo esto es así por una razón: Fue creada para acompañar a los adultos mayores solitarios, a modo terapéutico [73].



FIGURA 25. ROBOT TEDDY

Fuente: [74]

El Instituto de Investigación de Fujitsu ha desarrollado un oso de peluche robot para fines terapéuticos que es capaz de reconocer expresiones faciales y responder adecuadamente a ellas. Teddy, ver Figura 25, dispone de un repertorio de 300 respuestas a estímulos externos. Puede reír, llorar y mover sus manos y pies como reacción al estímulo. La nariz del robot es en realidad una cámara desde la cual detecta todo lo que ocurre a su alrededor para poder responder si fuera necesario. Además está capacitado para reconocimiento facial aunque los investigadores están intentando mejorarlo ya que en unas pruebas que se han hecho en algunos centros médicos este módulo no ha funcionado todo lo bien que ellos esperaban [74].

2.3. TELEOPERACIÓN

La teleoperación es si es un proceso donde el operador enfrenta una tarea remota en algún ambiente distante que sea peligroso o inaccesible como el espacio, bajo el agua, plantas nucleares o donde exista algún impedimento para estar físicamente presente. Los sistemas teleoperados extienden las capacidades del operador para trabajar en un lugar remoto.

Un sistema teleoperado puede constar en una variedad de componentes tecnológicos como: Interfaces táctiles sofisticadas (exoesqueletos), técnicas avanzadas de visualización (realidad virtual). Esto hace que la construcción de los sistemas sea costosa en tiempo y recursos. Tras varios años de investigaciones hoy en día la tele operación sea accesible para todos. El uso del Internet también ha reducido costos y la complejidad de sistemas teleoperados [75].

2.3.1. Conceptos

Existen muchas formas diferentes en la intervención del operador. Por lo que es necesario especificar algunos términos específicos que se utiliza en este tema [76]:

Teleoperación: conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano.

Telerobótica: forma evolucionada de la teleoperación, caracterizada por el aumento de la autonomía en el sistema remoto, manteniendo una intervención significativa del operador humano para supervisión o teleoperación directa.

Telepresencia: situación que se da cuando un ser humano tiene la sensación de encontrarse físicamente en un lugar remoto. La telepresencia se consigue realimentando coherentemente al ser humano suficiente cantidad de información sobre el entorno remoto.

Operador o teleoperador: es un ser humano que realiza a distancia el control de la operación. Su acción puede ir desde un control continuo hasta una intervención intermitente.

Dispositivo teleoperado: puede ser un manipulador, un robot, un vehículo o algún dispositivo similar que trabaje en una zona remota y este siendo controlado a distancia por un operador.

2.3.2. Arquitectura de control

Las arquitecturas de control en teleoperación son variadas. Su diseño e implementación tienen que cumplir ciertos objetivos. Un aspecto muy importante es la determinación de la información que se suministra al operador. En los sistemas de teleoperación aplicados a la robótica proveen información y requieren comandos que son enviados por el usuario hacia el robot. Sus arquitecturas de control pueden ser descritas de acuerdo a un estilo y nivel de conexión. Las tres principales categorías son: control supervisado, control distribuido y control directo [76].

2.3.2.1. Control supervisado

El control supervisado permite que el operador envíe comandos de alto nivel hacia el robot y reciba información del mismo. El operador está intermitentemente programando y recibiendo información desde un computador que en sí cierra un lazo de control autónomo a través de efectores artificiales y sensores.

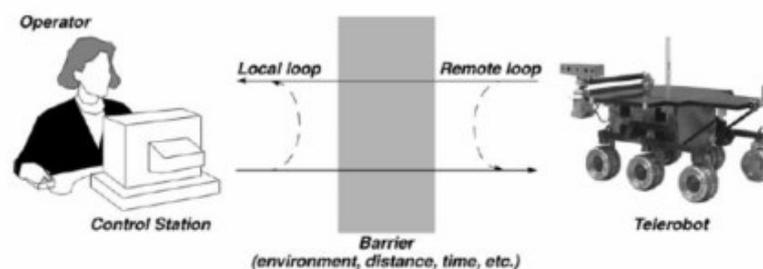


FIGURA 26. SISTEMA DE CONTROL SUPERVISADO.

Fuente: [77]

Ollero menciona que el control por supervisión engloba un conjunto de métodos de simulación, planificación y ayuda a la toma de decisiones, soportados por sistemas de informáticos de ayuda al operador en la teleoperación.

2.3.2.2. Control distribuido

El control distribuido garantiza seguridad al teleoperador y garantía en la tarea a realizar. Este control está basado en lazos de realimentación sensorial locales en el sitio del teleoperador por los cuales los comandos en bruto son simplificados para proporcionar autonomía del teleoperador.

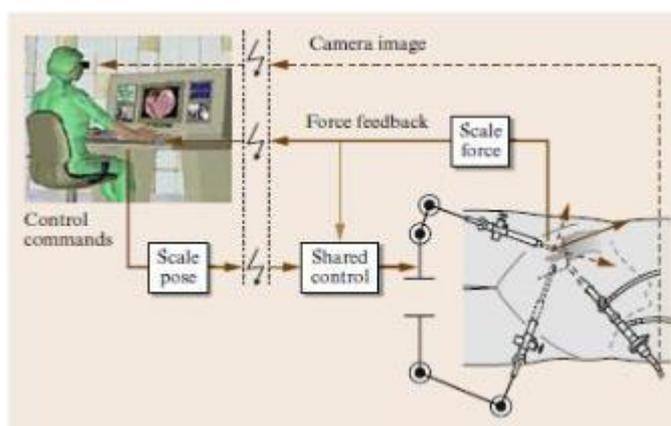


FIGURA 27. CONTROL DISTRIBUIDO EN CIRUGÍA TELEROBOTIZADA.

Fuente: [77]

2.3.2.3. Control directo

La mayoría de los sistemas telerobóticos incluyen alguna forma de control directo, el cual permite al operador especificar los movimientos del robot. Se asume un sistema maestro-esclavo.



FIGURA 28. OPERACIÓN REMOTA DE EXCAVADORA.

Fuente: [77]

2.4. SISTEMA DE CÓDIGO ABIERTO

Con el desarrollo de la era tecnológica y la comercialización de las primeras computadoras en los años 60s y 70s, los programas informáticos eran muy codiciados por lo que las primeras compañías privatizaron su código. A principios de los años 80s surgió la necesidad por parte de algunos programadores de crear proyectos que impulsaran la creación de software libre o código abierto como lo conocemos en la actualidad. Los sistemas de código abierto suelen ser gratuitos.

A principios de 1998 se creó el termino *Open Source* (código abierto), creando este término de mercadotecnia para software libre. Con este término se fundó la Iniciativa para el Código Abierto (*Open Source Initiative* - OSI), dedicada a la promoción de código abierto.

Las características del código abierto son:

- Acceso al código fuente: modificación, corrección e incorporar más prestaciones.
- Gratuidad: adquirir libremente el software.
- Evitar monopolios del software propietario.
- Modelo de avance por el acceso al código fuente.

El código abierto para ser considerado como tal, debe cumplir con los siguientes criterios [78]:

- Libre redistribución
- Código fuente debe obtenerse libremente
- Trabajos derivados debe estar permitidos su redistribución
- Integridad del código fuente del autor, pueden requerir que las modificaciones sean redistribuidas solo como parches
- No discriminación contra personas o grupos
- No discriminación en la función de la finalidad perseguida
- Distribución de la licencia
- La licencia no debe ser específica para un producto
- La licencia no debe restringir el otro software
- Licencia debe ser tecnológicamente neutro

La filosofía del código abierto es muy sencilla, como se detalla en la Figura 29. En la actualidad se puede ver que este modelo de código abierto produce una evolución cualitativa en el desarrollo del software en comparación al modelo de código cerrado. Esta evolución ha cambiado a favor de inventar y acondicionar elementos en lugar de comprarlos. Esta filosofía ha impulsado desarrollos como el de las tecnologías de Internet, Linux y muchas otras que han cambiado definitivamente la concepción tradicional de la tecnología y de los negocios [79].

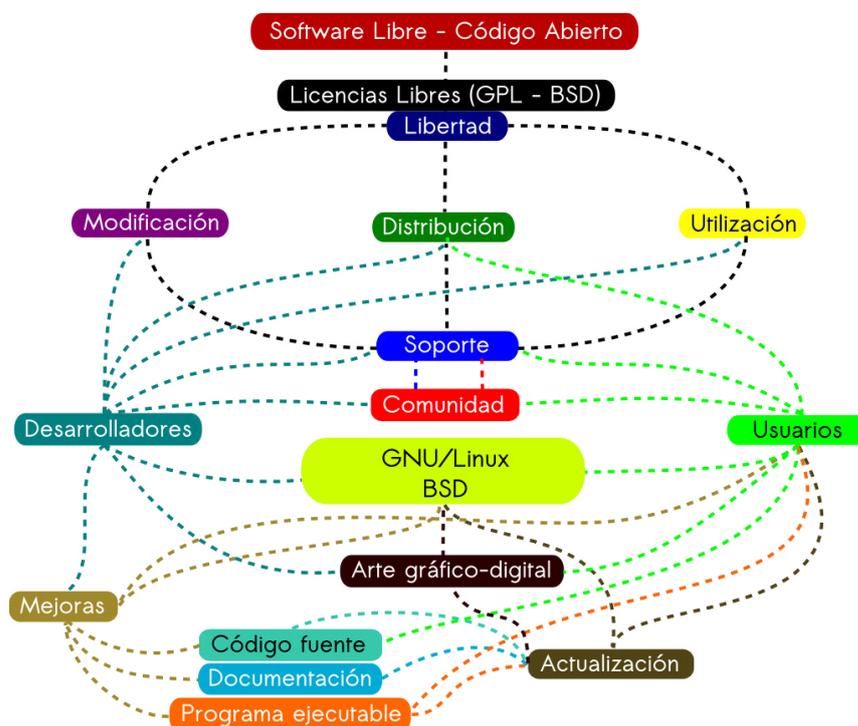


FIGURA 29. CARACTERIZACIÓN DEL OPEN SOURCE
Fuente: [77]

2.4.1. Software libre

El software libre permite a los usuarios utilizar, cambiar, mejorar su código fuente y redistribuirlo, ya sea en la nueva versión modificada o en su versión original. El código fuente y otros derechos que normalmente son exclusivos para quienes poseen los derechos de autor, son publicados bajo una licencia de software bajo dominio público. La distribución, desarrollo colaborativo y resultados se realiza mediante

Internet, en la Figura 30 se puede observar la red de conceptos sobre el software libre.

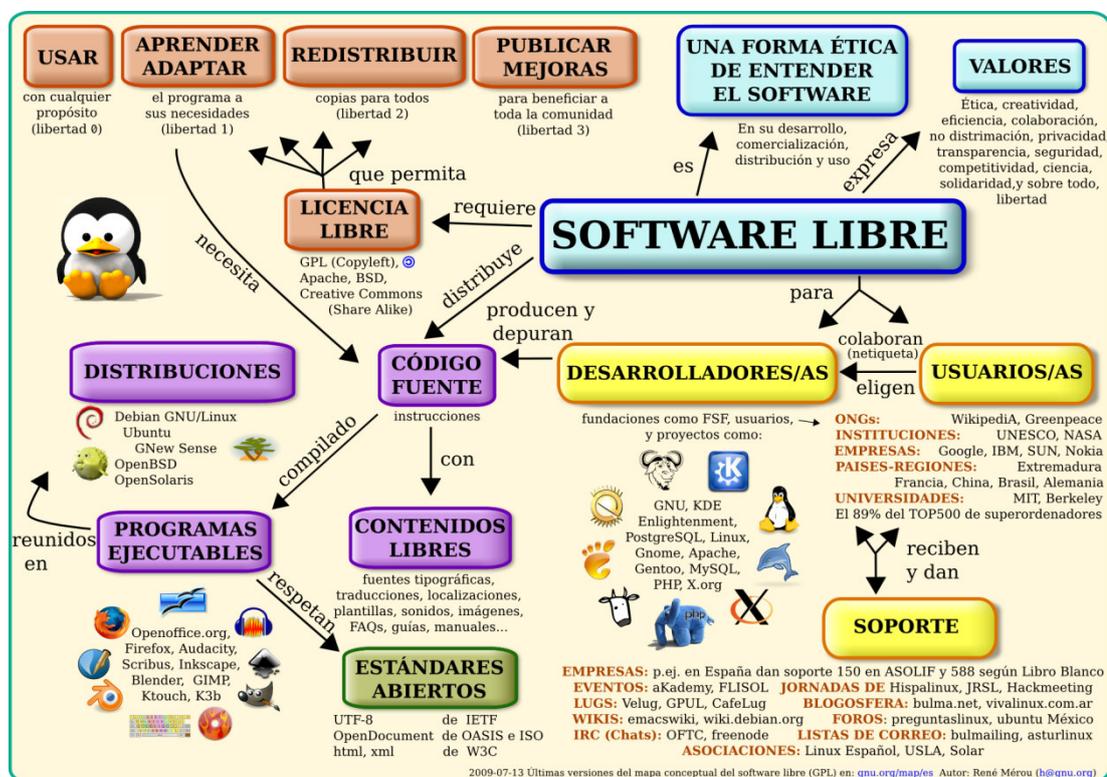


FIGURA 30. RED DE CONCEPTOS DEL SOFTWARE LIBRE

Fuente: [80]

La definición mantenida por la Fundación para el Software Libre dice que para que un programa de ordenador sea considerado software libre debe respetar cuatro derechos o libertades considerados como fundamentales para el usuario de ese programa [81]:

- Los usuarios deben tener derecho a utilizar el programa, sin restricciones, donde quiera, como quiera y para lo que quiera.
- Los usuarios deben tener derecho a estudiar cómo funciona el programa y, si lo desean, a adaptarlo a sus necesidades específicas.
- Los usuarios deben tener derecho a distribuir copias a sus amigos, empleados, conocidos, empleadores y, en fin, a cualquier persona que deseen.

- Los usuarios deben tener derecho a mejorar el programa, publicar y distribuir sus mejoras al público (o a quien deseen) de modo que más personas salgan beneficiadas de los cambios.

2.4.2. PROCESSING

Desarrollado a partir del 2001 en el MIT por Casey Reas y Ben Fry. Inspirado en DBN (Design By Numbers) de John Maeda. Processing es un dialecto de Java específicamente diseñado para el desarrollo de arte gráfico, animaciones y aplicaciones gráficas de todo tipo. Es Open Source que se puede desarrollar en las plataformas donde está disponible Java como son Mac OS, Linux, Windows.

2.4.2.1. Características

- Dispone de su propio IDE de desarrollo (fácil).
- Mejor curva de aprendizaje que OpenGL + GLUT u otras alternativas.
- Permite desarrollar aplicaciones desde muy sencillas a muy complejas.
- Escalable. Se puede combinar programación con processing con Java puro y las librerías propias de Java. Una aplicación Java ‘pura’ también puede usar las librerías de Processing.
- Permite 3 formas de programar: básica, procedural/ estructurada y orientada a objetos.
- Genera aplicaciones listas para ser ejecutadas en las tres principales plataformas: Mac OS, Linux y Windows.
- Las aplicaciones processing también pueden generarse para su ejecución en internet.
- Es posible desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles.
- Conexión con dispositivos y prototipos electrónicos: proyectos Arduino, Wiring, etc.

2.4.3. *Hardware libre*

Los elementos de hardware libre son cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de dominio público, ya sea bajo algún tipo de pago o de forma gratuita. A mediados de la década de 2000 el hardware libre de nuevo se convirtió en un centro de actividad debido a la aparición de varios de los principales proyectos y compañías de hardware libre, como OpenCores, RepRap (imprison 3D), Arduino, Adafruit, Sparkfun. En la actualidad han surgido dispositivos reconfigurables lógicos programables, entre los cuales destacamos: Raspberry Pi, Pcdduino, BeagleBone, CupieBoard, entre otros como se puede observar en la Figura 31.

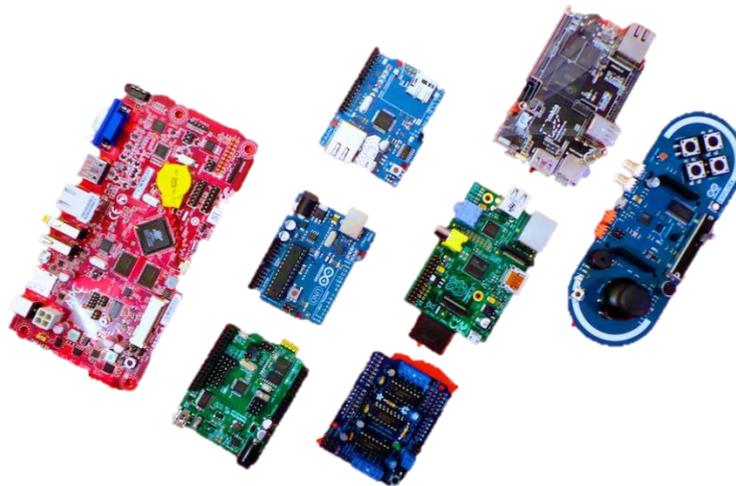


FIGURA 31. MODELOS DE HARDWARE LIBRE

Fuente: [82]

2.5. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Con el desarrollo de la tecnología en la actualidad se tiene accesibilidad a varios dispositivos que tienen la capacidad de procesar imágenes de video, como se observa la Figura 32. Esto debido a la integración de este tipo de componentes en las computadoras ya sean de escritorio o personales, celulares o tabletas; facilitando así la manipulación de las imágenes y del procesamiento de información.



FIGURA 32. DISPOSITIVOS CON CAPACIDAD DE PROCESAR IMÁGENES
Fuente: [83]

En la robótica, las cámaras digitales son el sensor más completo utilizado en todas las áreas de aplicación. Con el continuo mejoramiento de los procesadores y la capacidad de memoria también se han incorporados en sistemas embebidos cada vez más con dimensiones reducidas.



FIGURA 33. CÁMARAS PARA SISTEMAS EMBEBIDOS
Fuente: [83]

El procesamiento de imágenes da como resultado la transformación de los datos obtenidos mediante la cámara para la toma de decisiones. La transformación de la imagen a una cuadrícula de números, da la información específica para ejecutar una tarea determinada.

Para los robots interactivos es de suma importancia tener un excelente procesamiento de imágenes con una tasa alta de transferencia de datos desde la cámara hacia el procesador. El robot va a realizar un reconocimiento y seguimiento

del rostro del paciente y se requiere que sea continuo para que tenga un impacto en el paciente y no pierda la concentración del robot.

2.5.1. *OpenCV*

OpenCV es una biblioteca de fuente libre desarrollada en lenguaje C y compatible para Linux, Windows y Mac. Contiene más de 500 funciones para diferentes áreas de visión artificial como control de calidad, seguridad, interfaces, robots, etc [84].

2.6. RESUMEN

Al realizar la investigación de este capítulo se puede relacionar varios temas tratados con la importancia de considerar las características propias de las personas con TEA para lograr un diseño eficiente. En este caso centrarse en que el robot sea llamativo para los pacientes para generar una buena relación entre ellos. El hecho de revisar las características y clasificaciones de los robots sociales es para plantear que la interacción social del robot juega un rol muy importante en el desarrollo de este proyecto.

Se pudo determinar que el robot interactivo a desarrollar va a ser un robot social artificial, caricaturesco y poliarticulado. Artificial ya que tiene rasgos propios en su conducta y está íntimamente relacionado con la función que realice. Caricaturesco ya que facilita la interacción con los pacientes con TEA. De acuerdo con lo planteado la arquitectura principal del robot será un poliarticulado, ya que así se podrá obtener las características explicadas en el capítulo 1.

Además se detalla el sistema de código libre entre los cuales se define el software libre. Se realiza una descripción del software libre con sus principales características y como parte de este sistema de código libre se da una breve descripción del Processing. Se describe el Hardware libre y las plataformas de desarrollo que forman parte de este sistema. Al revisar proyectos similares realizados en este entorno de *open source* permite visualizar los aciertos y errores que otros hayan obtenido, por lo tanto el proyecto planteado lograría tener lo mejor de cada uno y contar con mejoras al respecto de los errores detectados.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

Existen diferentes campos en los cuales se debe desarrollar el robot interactivo, entre los cuales se encuentra la mecánica, electrónica e interfaz humano máquina. Para que exista una sinergia de manera eficiente la metodología de diseño es un punto muy importante, el cual se detalla de manera específica en la sección 3.1 del diseño del sistema.

En el presente capítulo se especifica el campo de población de aplicación del proyecto, seguido por el desarrollo del despliegue de las funciones de calidad (QFD) en el cual se detallan los subsistemas del proyecto. Se presenta el diseño del robot interactivo en sus campos de interés respectivamente.

3.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el desarrollo del sistema a implementar es importante seguir una metodología de desarrollo de un producto. Para este proyecto nos regiremos al proceso genérico de desarrollo, ver diagrama de flujo de proceso en Figura 34. Existen variantes en el proceso genérico del desarrollo del proyecto pero con las especificaciones establecidas en el alcance del presente proyecto se puede determinar que el tipo de proceso es el de producto personalizado. Al ser un "proyecto nuevo con ligeras variaciones de configuraciones ya existentes se le considera un producto personalizado" [85].



FIGURA 34. PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO

Fuente: [85]

Antes de iniciar con el diseño del sistema es muy importante seguir la metodología de desarrollo del producto. Una vez analizados las necesidades de los pacientes, estos deben transformarse a especificaciones del sistema a implementar. Para enfocarse en un solo campo de aplicación del robot es necesario especificar el rango de pacientes que van a ser tratados con el robot interactivo.

3.2. ÁREA DE POBLACIÓN DE APLICACIÓN

Esta característica hace referencia a enfocarse en la población de aplicación del proyecto a realizarse, debido a que el TEA engloba trastornos como autismo de Kanner, autismo atípico, el trastorno desintegrativo infantil y el trastorno de Asperger; como se explicó en el capítulo 2.

Los pacientes con TEA tienen sus propias características y ritmos de aprendizaje. Se debe abarcar el desarrollo en cada campo: motor, perceptivo, cognitivo, social, lenguaje y comunicación; por lo que se debe enfocarse en un solo grupo para poder delimitar las funciones del robot social. Por recomendaciones del director del área de psicología en “Fundación entra a mi mundo” el Dr. Darío Terán se enfocó a los trastornos de Asperger y autismo leve, para el trabajo de las funciones y aplicaciones del robot interactivo.

Se tomó en consideración tres opciones para el área de aplicación de los pacientes: 0 a 3 años de edad mental, 3 a 6 años de edad mental, 6 a 10 años de edad mental y de 10 años en adelante de edad mental. Con las especificaciones de cada campo se define la opción de pacientes de 6 a 10 años de edad mental, son pacientes con TEA un poco más adaptados a su propio medio, a continuación, se presentan las ventajas y desventajas de este grupo.

Ventajas

- Les atrae la tecnología.
- Prefieren jugar solos, así se enfocará solo en el robot.
- La estabilidad emocional depende de su entorno.

Desventajas

- Presentan ataques violentos y agresivos con algún cambio drástico de su entorno.
- El lenguaje es defectuoso

Tomando en cuenta las especificaciones del sistema y el área de aplicación se considera los criterios principales, que son: costo, funcionalidad e implementación. Dos de los objetivos de este proyecto es la interacción del paciente con el robot y la teleoperación del robot por parte del especialista; considerando estos objetivos se determina que la funcionalidad del robot debe ser óptima y eficaz para la interacción con los pacientes. Se debe tomar como prioridad las necesidades de los pacientes, creando el vínculo necesario paciente- robot que se requiere para que el especialista logre el tratamiento requerido. Seguido por el criterio del costo ya que debe ser de bajo costo el desarrollo del proyecto y que está estrechamente ligado a la implementación del mismo.

Al trabajar con un definido grupo de pacientes para la aplicación delimita las funciones del robot social que se va a desarrollar, creando así una alternativa de diseño enfocado a los rasgos distintivos de este grupo. Los rasgos distintivos de los pacientes con TEA de 6 a 10 años de edad mental se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3
RASGOS DISTINTIVOS DE PACIENTES CON TEA DE 6 A 10 AÑOS DE EDAD MENTAL

EDAD	RASGOS DISTINTIVOS
Escolar (6 a 10 años)	Déficits importantes en el desarrollo normal de la interacción social y la comunicación con sus iguales.
	Funcionamiento intelectual deficitario.
	Volumen, entonación y ritmo del habla anormales.
	Los comportamientos comunicativos no verbales presentan gran alteración (no hay contacto ocular, inexpresividad facial, gestos inadecuados).
	Manías motoras persistentes (aleteos o contorsión de manos, etc).
	Afectos inapropiados al contexto, por ejemplo, se ríen cuando son castigados o pueden llorar cuando se sienten bien o se les elogia.

Fuente: Autor.

3.3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Para determinar las especificaciones del robot interactivo es necesario entender las necesidades del usuario en términos de los atributos del producto, para que estos se traduzcan en especificaciones apropiadas a las características de ingeniería. Así ayudando a la elaboración de la estructura funcional.

3.3.1. QFD (*Quality Function Deployment*)

El método de la función de la calidad consiste en transformar la demanda del usuario en calidad de diseño, con el fin de obtener los elementos específicos para un proceso de fabricación óptimo.

Se debe tomar muy en cuenta todas las necesidades de las personas que intervienen en el campo de aplicación del proyecto, sobre todo para el caso del TEA.

REQUERIMIENTO DEL USUARIO

Para el robot interactivo como está orientado a personas con TEA no se les puede hacer encuestas verbales directamente, por las condiciones extremas en ciertos pacientes en relación a la interacción social y comunicación. Se realizó encuestas verbales a personas especialistas en tratamiento de personas con TEA.

Para Michelle Arias Cárdenas, Licenciada en Ciencias de la Educación especializada en Educación Parvularia, enfocó su investigación en el tema del TEA: *“Incidencia de los procesos de inclusión en el desarrollo integral del niño autista de entre 3 y 6 años de edad mental, ubicados en el área urbana de Quito”*. Se hizo la presentación del proyecto presente haciéndole llegar que se va a elaborar un robot interactivo para el tratamiento de personas con TEA. Se le consultó como debería ser y como desearía que fuera el robot interactivo. En la Tabla 4 se muestran los requerimientos.

TABLA 4
REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

PALABRAS DEL USUARIO		REQUISITOS DEL USUARIO
1	Económico	El diseño debe tener partes de fácil adquisición y bajo costo.
2	Debe ser seguro físicamente	Seguro
3	Que tenga buen aspecto	Buen aspecto
4	Que tenga movimientos suaves y continuos	Velocidad baja de movimientos
5	Que no sea tan pequeño ni tan grande	Estructura amplia y resistente.
6	Color del robot debe ser neutral, colores vacíos	Diseño con colores blanco o negro.
7	Pantalla no sea pequeña min 15cm x 10cm	Pantalla de tamaño considerable
8	Que tenga sonido pero en un volumen medio	Sonidos a bajos decibeles.
9	Aplicaciones 5 colores básicos y sus combinaciones	Interfaz con colores básicos
10	Aplicaciones que tengan pocas palabras	Interfaz en su mayoría gráfico, palabras no más de 3 a 5 en una frase.
11	Fácil de usar	Fácil manejo y cómodo para manipular
12	Fácil de manejar	Fácil monitoreo y control del robot
13	Que el seguimiento de rostro sea sutil	Movimientos suaves en la visión artificial.
14	Recargable	Larga duración
15	Fácil transporte	Capacidad de desmontaje sencilla

Fuente: Autor

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS OBTENIDAS

Al establecer los requerimientos del usuario, se procede a enlistar las características técnicas. Estas características deben ser tomadas en cuenta con la finalidad de dar una solución a cada uno de los requerimientos de usuario. En la Tabla 5 se identifican las características técnicas.

TABLA 5**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ROBOT INTERACTIVO**

REQUERIMIENTOS DEL USUARIO		CARACTERÍSTICA TÉCNICA
1	Estructura amplia y resistente.	Estructura robusta
2	El diseño debe tener partes de fácil adquisición y bajo costo.	Software de control
3	Velocidad baja de movimientos	Movimiento
4	Seguro	Adquisición y mando
5	Movimientos suaves en la visión artificial.	Detección de rostros
6	Larga duración	Capacidad energética
7	Interfaz con colores básicos	Diseño HMI
8	Interfaz en su mayoría gráfico, palabras no más de 3 a 5 en una frase.	
9	Fácil manejo y cómodo para manipular	Tele-operación
10	Fácil monitoreo y control del robot	

Fuente: Autor

Una vez elaborada la tabla de características técnicas del robot, es importante realizar un despliegue de las alternativas de solución (Cómo's), como se muestra en la Tabla 6.

TABLA 6**ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL ROBOT INTERACTIVO**

QUÉ's		CÓMO's
1	Estructura robusta	<ul style="list-style-type: none"> • Modularidad • Diseño de la estructura • Sistema de sujeción • Selección de material
2	Software de control	<ul style="list-style-type: none"> • Programación
3	Movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Grados de libertad • Diseño mecánico • Selección de los motores
4	Adquisición y mando	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de la placa de desarrollo
5	Detección de rostros	<ul style="list-style-type: none"> • Visión artificial
6	Capacidad energética	<ul style="list-style-type: none"> • Suministración de energía
7	Diseño HMI	<ul style="list-style-type: none"> • Buen diseño de aplicación • Estética
8	Tele-operación	<ul style="list-style-type: none"> • Programación • Diseño interfaz especialista • Selección de elementos electrónicos de control • Trasmisión de voz

Fuente: Autor

Una vez elaborada la tabla de alternativas de solución de las características técnicas, se pasa a desarrollar la Matriz QFD, donde se obtendrá la relación entre los requerimientos del usuario y las características técnicas. Este desarrollo asegura la mejor manera para satisfacer esas necesidades con los recursos disponibles.

En la Tabla 7 y Tabla 8 se describe la simbología utilizada en los grados de correlación entre las características técnicas y los requerimientos de usuario y características técnicas.

TABLA 7**SIMBOLOGÍA DE GRADO DE CORRELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

GRADO DE CORRELACIÓN	SÍMBOLO
Positiva	+
Negativa	-

Fuente: Autor

TABLA 8**SIMBOLOGÍA DE GRADO DE CORRELACIÓN ENTRE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

GRADO DE CORRELACIÓN	SÍMBOLO	VALORACIÓN
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	∇	1
Nula	vacío	0

Fuente: Autor

3.3.1.1. Especificaciones Obtenidas

Una vez realizada la matriz, se puede analizar los datos que mostrarán el nivel de importancia de las alternativas de solución y de las características técnicas al momento del diseño a través del porcentaje de ponderación, como se indica en la Tabla 9 y Tabla 10.

TABLA 9**PONDERACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	IMPORTANCIA
1	Programación	14%
2	Selección de componentes electrónicos	13%
3	Diseño físico	10%
4	Diseño interfaz de tele-operación	10%
5	Selección de componentes mecánicos	9%
6	Diseño aplicación de tratamiento	9%
7	Diseño estético	8%
8	Modularidad	7%
9	Visión artificial	6%
10	Suministro de energía	6%
11	Grados de libertad	5%
12	Trasmisión de voz	5%

Fuente: Autor

Las alternativas de solución más importante a ser considerado en el diseño del robot son: la programación, la selección de componentes electrónicos, el diseño físico junto con el diseño de la interfaz de teleoperación. Seguidos con una importancia media, las alternativas son: la selección de componentes mecánicos, el diseño de la aplicación de tratamiento, el diseño estético y la modularidad. Por ultimo tenemos a las alternativas de baja importancia que son: la visión artificial, el suministro de energía, los grados de libertad y la trasmisión de voz.

TABLA 10
RESULTADOS DE MATRIZ QFD

	CARACTERÍSTICA TÉCNICA	IMPORTANCIA
1	Tele-operación	17%
2	Adquisición y mando	17%
3	Software de control	15%
4	Movimiento	14%
5	Detección de rostros	13%
6	Estructura robusta	9%
7	Capacidad energética	8%
8	Diseño HMI	8%

Fuente: Autor

Destacando que la tele-operación del robot y la adquisición y mando son de mayor importancia para el desarrollo del proyecto. El software de control es el factor de segunda importancia a ser considerado, seguido por el factor del movimiento del robot. Como cuarta consideración para el desarrollo del robot es la detección de rostros. Las características técnicas como la estructura robusta, la capacidad energética y el diseño HMI comparten el mismo rango de importancia como resultado de la matriz QFD.

3.3.1.2. *Determinación de las especificaciones*

Como consecuencia del despliegue de la matriz QFD, se conoce las ponderaciones de las alternativas de solución y de las características técnicas. Una vez conocidas estos parámetros se procede a detallar los parámetros de diseño del robot. El robot interactivo cumplirá con las especificaciones mencionadas a continuación:

- Control: Software libre
- Pacientes relacionados con: Asperger y autismo leve
- Grados de libertad: mínimo 2
- Arquitectura modular
- Tele-operado
- Transmisión de voz a tiempo real

- Diseño estético con blanco/negro
- Aplicación de tratamiento con diseño minimalista

3.3.1.3. Arquitectura modular

En ingeniería de diseño, se definió la arquitectura de un producto como el trazo de los componentes funcionales a los componentes físicos [86]. La modularidad consiste en la modificación del diseño sin influir en los otros componentes del mismo. El uso de este tipo de arquitectura permitirá al desarrollo de este proyecto de investigación tener cambios en determinados segmentos sin la necesidad de afectar a otros componentes. En la Tabla 11 se detalla la arquitectura modular del presente proyecto.

TABLA 11

ARQUITECTURA MODULAR DEL ROBOT INTERACTIVO

MÓDULO	SUB-MÓDULOS	FUNCIONES
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura interna • Material 	<ul style="list-style-type: none"> • Interacción segura y estable con los pacientes con asperger y autismo leve
Movimiento		<ul style="list-style-type: none"> • Grados de libertad • Mecanismo de movimiento
Control		<ul style="list-style-type: none"> • Software de control de todos los módulos del robot
Electrónico y Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de desarrollo • Actuadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de los actuadores del robot
Teleoperación	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo control periférico • Trasmisión de voz 	<ul style="list-style-type: none"> • Control del robot por medio de una computadora. • Conversación especialista-paciente
Aplicación tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia • Software • Diseño 	<ul style="list-style-type: none"> • Interactuar con el paciente de manera dinámica.
Visión artificial		<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento de rostro
Suministro de energía		<ul style="list-style-type: none"> • Suministrar energía eléctrica a los elementos del robot.

Fuente: Autor

3.3.2. Selección de conceptos de diseño

Se procede a dar alternativas a cada uno de los módulos mostrados en la Tabla 11. El proceso de selección del concepto de cada uno de las características técnicas se procede a utilizar el método ordinal corregido de criterio ponderado.

Se requiere estandarizar los criterios a valorar para cada característica técnica. Se va a realizar tablas de ponderación, los valores comprendidos entre 0 y 1. Si el valor es 1 significa que el criterio de la fila es más relevante que el criterio de la columna, caso contrario, si el valor es 0 significa que el criterio de la columna es más importante que el correspondiente a la fila.

3.3.2.1. Módulo estructura

El módulo estructura consiste en el conjunto de elementos y materiales, cuya función principal es la de formar un sistema físico que cumpla con los requerimientos descritos anteriormente. Este módulo consta de dos sub-módulos: estructura interna y material.

3.3.2.1.1. Sub-módulo estructura interna

a) Modular

Una estructura modular se refiere a disponer de placas de acrílico con un diseño que satisfaga las necesidades. El diseño es en placas en diferentes niveles que son separadas por espaciadores. El sistema es una estructura hueca, es de bajo peso y costo relativamente bajo.



FIGURA 35. ROBOT DE 2WD DE 3 CAPAS

Fuente: [87]

b) Cuerpo sólido

Una estructura sólida se refiere a crear un cuerpo únicamente con los espacios para los elementos a insertarse. Este tipo de estructura son relativamente pesadas y caras.

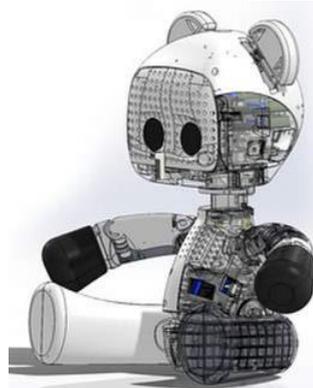


FIGURA 36. ESTRUCTURA SÓLIDA DE ROBOT HUGGABLE
Fuente: [88]

Criterios de evaluación para la selección de estructura interna

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Peso
- Robustez

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de la estructura interna

Se realiza la ponderación de criterios de evaluación para la estructura interna, como se observa en la Tabla 12.

TABLA 12
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURA INTERNA

	Costo	Peso	Robustez	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Peso	0	-	0,5	1,50	0,25
Robustez	0	0,5	-	1,50	0,25
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Modular
- Concepto 2: Cuerpo Solido

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de la estructura interna

En la Tabla 13 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 13
PONDERACIÓN DE COSTO PARA ESTRUCTURA INTERNA

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 14 se evaluó el peso específico del criterio de peso.

TABLA 14
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA ESTRUCTURA INTERNA

Peso	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 15 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de robustez.

TABLA 15
PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA ESTRUCTURA INTERNA

Robustez	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1,00	0,33
Concepto 2	1	-	2,00	0,67
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de estructura interna

TABLA 16
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ESTRUCTURA INTERNA

	Costo	Peso	Robustez	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,33	0,17	0,08	0,58	1
Concepto 2	0,17	0,08	0,17	0,42	2

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con estructura interna modular, ver Tabla 16.

Se realiza el diseño en un software CAD, en el cual se realiza la estructura interna mediante placas de acrílico con los niveles necesarios para la distribución de los elementos mecánicos, electrónicos y eléctricos. El diseño realizado se muestra en la Figura 37.



FIGURA 37. ESTRUCTURA INTERNA
 Fuente: Autor

El diseño de las placas de acrílico se realizar mediante un software CAD con la distribución de cada elemento en la placa correspondiente. Para el análisis se realiza una simulación en un software CAE.

- Base servomotores

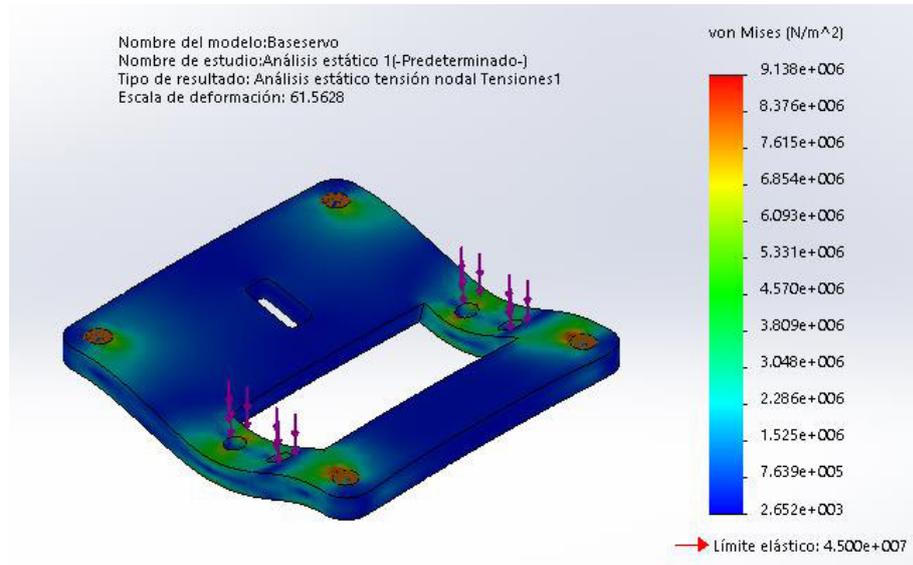


FIGURA 38. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA BASESERVO

Fuente: Autor

En la Figura 38 se puede observar la simulación de la placa baseservo que es la base del servomotor del mecanismo del cuello del robot. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del acrílico.

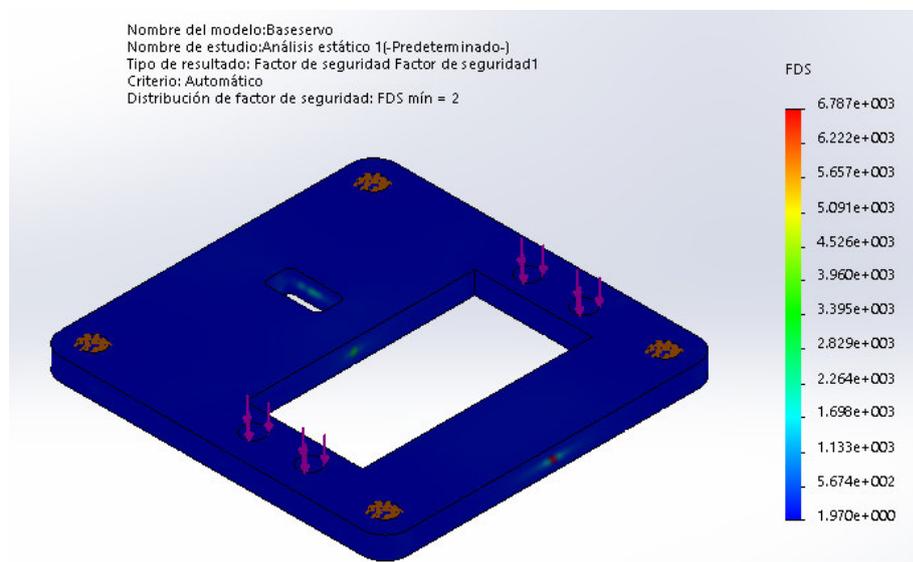


FIGURA 39. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA BASESERVO

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 39 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

- Tapa CuerpoB

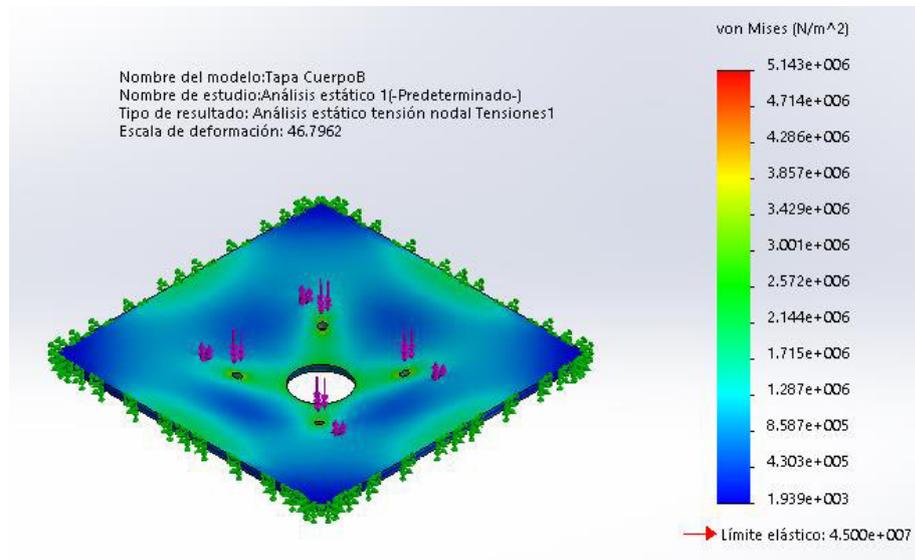


FIGURA 40. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA TAPA CUERPOB

Fuente: Autor

En la Figura 40 se puede observar la simulación de la placa tapa cuerpoB de la estructura del mecanismo del cuello y cabeza del robot. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del acrílico.

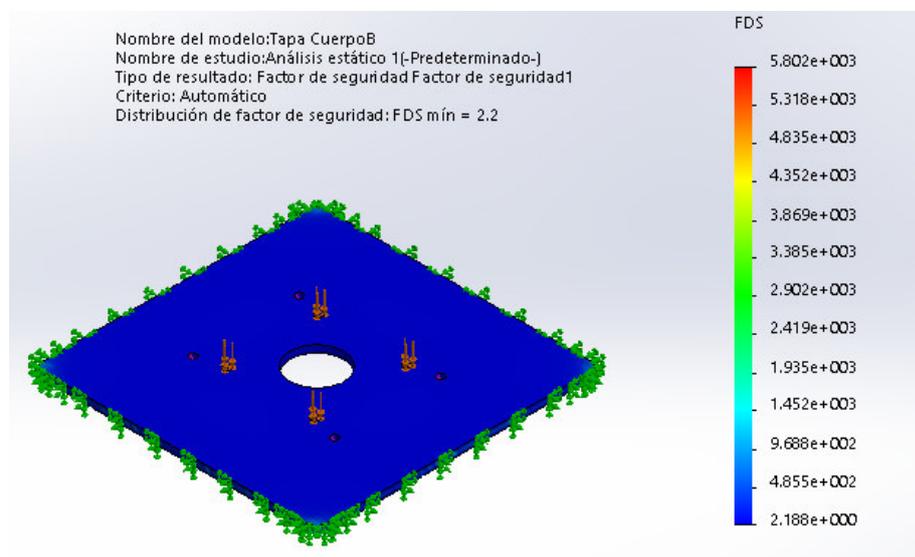


FIGURA 41. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA TAPA CUERPOB

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 41 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

- Placabase

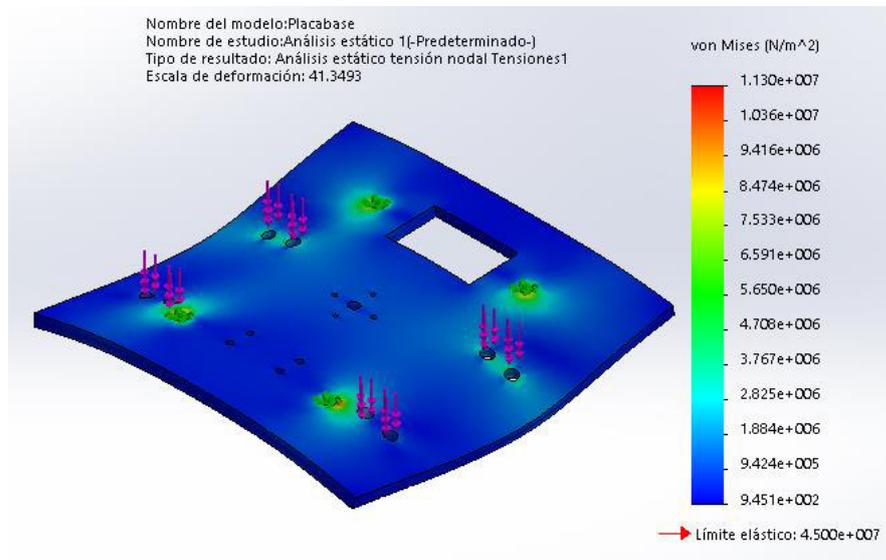


FIGURA 42. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA BASESERVO

Fuente: Autor

En la Figura 42 se puede observar la simulación de la placa baseservo que es la base de los servomotores del mecanismo para los brazos del robot. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del acrílico.

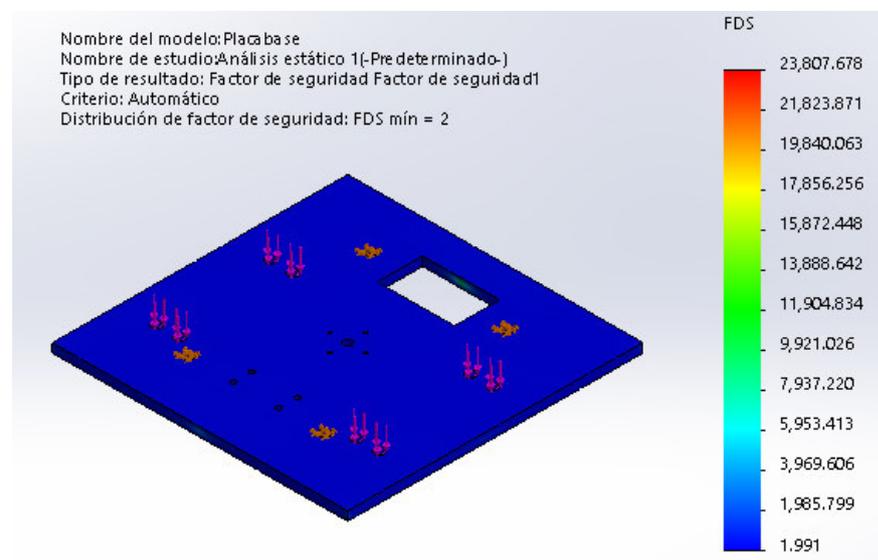


FIGURA 43. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA BASESERVO

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 43 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

- Placa2

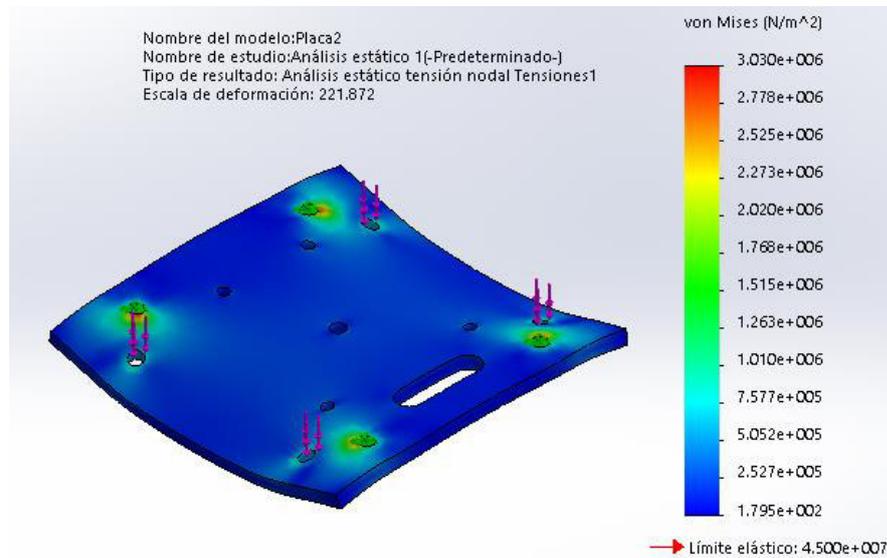


FIGURA 44. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA2

Fuente: Autor

En la Figura 44 se puede observar la simulación de la placa2 que es la base del driver de los servomotores del robot. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del acrílico.

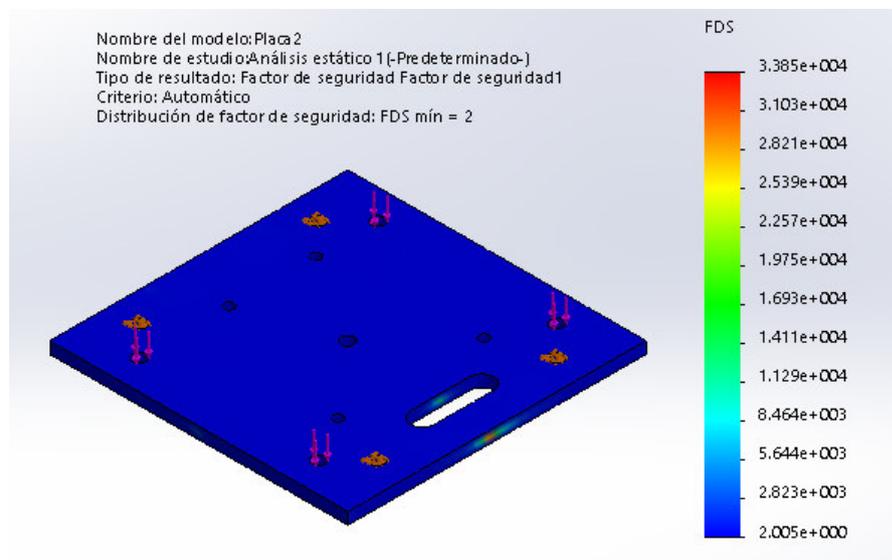


FIGURA 45. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA2

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 45 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

- Tapa Cuerpobase

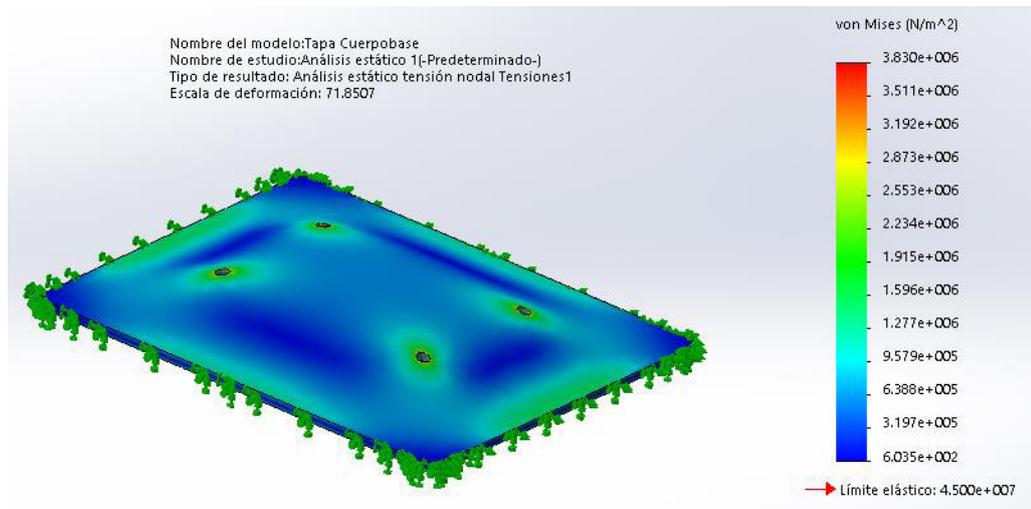


FIGURA 46. ESFUERZO DE VON MISES EN PLACA TAPA CUERPOBASE

Fuente: Autor

En la Figura 46 se puede observar la simulación de la placa tapa cuerpobase que es la base. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del acrílico.

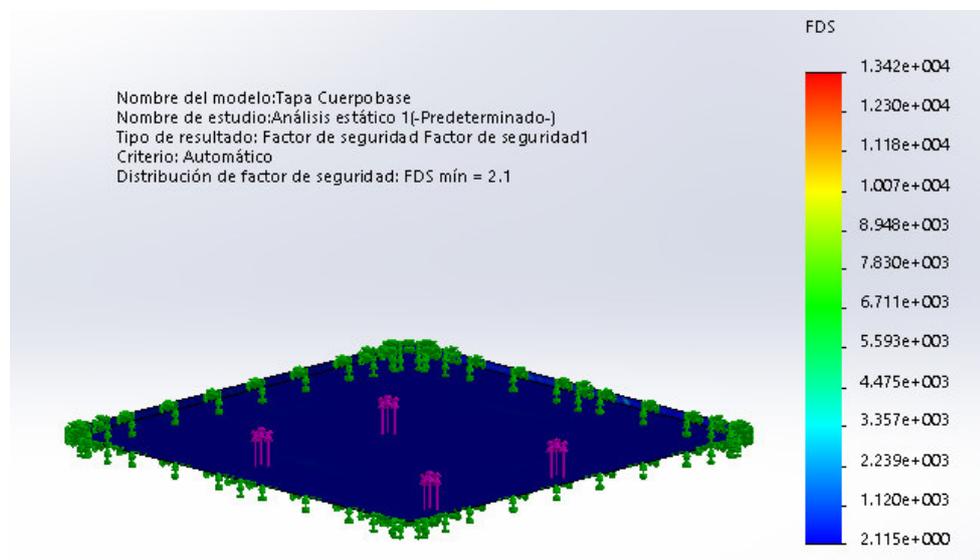


FIGURA 47. FACTOR DE SEGURIDAD EN PLACA TAPA CUERPOBASE

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 47 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

3.3.2.1.2. Sub-módulo estructura externa

Este sub-módulo hace referencia a la fabricación de la estructura externa del robot interactivo y al material que se va a usar.

a) Moldeo por inyección de plástico

Este tipo de fabricación consiste en inyectar un polímero a un molde cerrado a presión. El diseño consiste en la fabricación del molde para la creación de artículos personalizados.

Ventajas

- Producto personalizado de cualquier dimensión.
- Resistente a impactos fuertes.
- Producto con propiedades físicas-mecánicas altas.

Desventajas

- El costo de fabricación es elevado.
- El proceso de fabricación es demorado.

b) Impresión 3D

Este tipo de fabricación consiste en la creación de un diseño CAD para transformarlo en un objeto tridimensional mediante el proceso de impresión por adición de material por capas.

Ventajas

- El costo de fabricación es bajo a comparación del anterior.
- Producto personalizado.

Desventajas

- El proceso de fabricación es demorado.
- No es resistente a impactos fuertes.
- La fabricación de piezas grandes depende de las dimensiones de la impresora 3D.

Criterios de evaluación para la selección de estructura externa

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Peso
- Resistente

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de la estructura externa

Se realiza la ponderación de criterios de evaluación para la estructura externa, como se observa en la Tabla 17.

TABLA 17
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ESTRUCTURA EXTERNA

	Costo	Peso	Resistente	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	0	2,00	0,33
Peso	0	-	0	1,00	0,17
Resistente	1	1	-	3,00	0,50
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Inyección de plástico
- Concepto 2: Impresión 3D

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de la estructura externa

En la Tabla 18 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 18
PONDERACIÓN DE COSTO PARA ESTRUCTURA EXTERNA

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1,00	0,33
Concepto 2	1	-	2,00	0,67
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 19 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de peso.

TABLA 19
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA ESTRUCTURA EXTERNA

Peso	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 20 se realiza la ponderación del peso específico del criterio de resistente.

TABLA 20
PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA ESTRUCTURA EXTERNA

Resistente	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	2,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de estructura externa

TABLA 21
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ESTRUCTURA EXTERNA

	Costo	Peso	Resistente	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,11	0,08	0,33	0,53	1
Concepto 2	0,22	0,08	0,17	0,47	2

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con estructura externa a inyección de plástico.

Al ser una alternativa viable por las propiedades físico-mecánicas, no deja de ser un proceso de fabricación altamente costoso para el desarrollo de un solo robot interactivo. Se ha decidido ocupar una pieza comercial que sea realizada por inyección de plástico PE que se adapte a nuestras necesidades, ver Figura 48.



FIGURA 48. RECIPIENTE A INYECCIÓN DE PLÁSTICO PE
Fuente: Autor

Dimensiones:

- Base menor: 11cm x 11cm
- Base mayor: 16cm x 16cm
- Altura: 13,5cm

Se realiza una configuración de dos pirámides cuadradas truncadas superpuestas con la estructura de polietileno para la geometría de la estructura externa, como se muestra en la Figura 49.

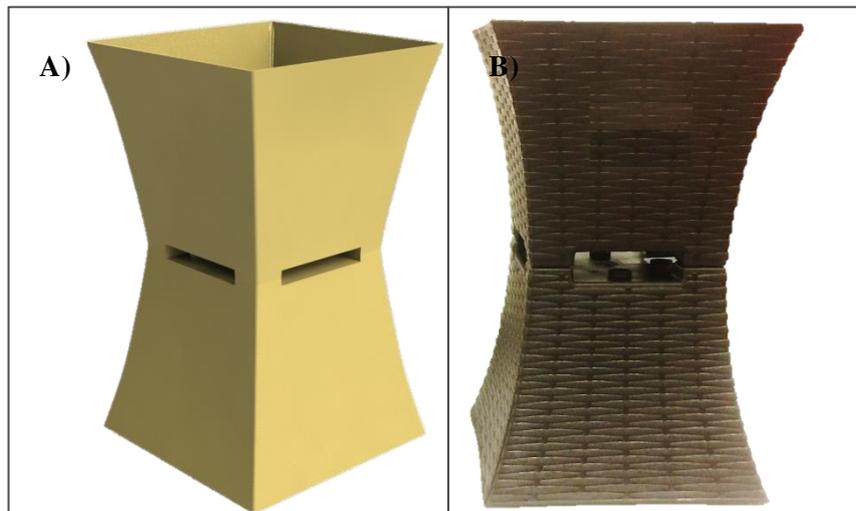


FIGURA 49. GEOMETRÍA ESTRUCTURA EXTERNA: A) DISEÑO CAD, B) DISEÑO CON PIEZA COMERCIAL

Fuente: Autor

El diseño de la estructura exterior de polietileno se realizó mediante un software CAD con la distribución de los elementos para el movimiento de los brazos y la cámara. Para el análisis se realizó una simulación en un software CAE.

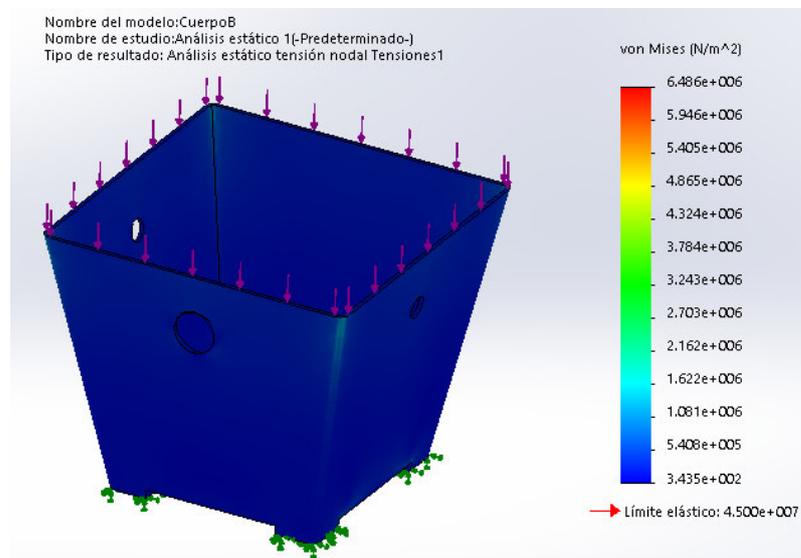


FIGURA 50. ESFUERZO DE VON MISES EN CUERPOB

Fuente: Autor

En la Figura 50 se puede observar la simulación del cuerpoB que es estructura externa del robot. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del polietileno.

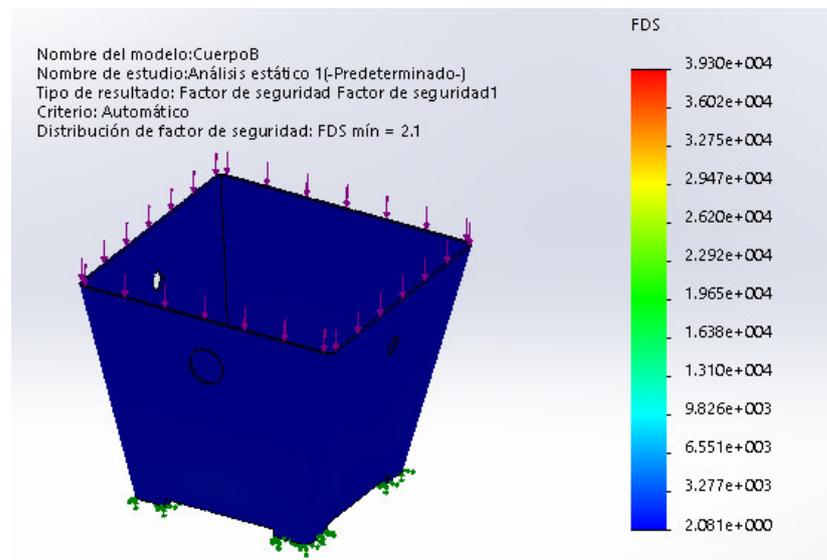


FIGURA 51. FACTOR DE SEGURIDAD EN CUERPOB

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 51 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que el diseño es válido.

3.3.2.2. Módulo movimiento

El módulo de movimiento permite establecer los grados de libertad que va a poseer el robot interactivo. Como especificación de diseño es mínimo 2 grados de libertad que van a corresponder al movimiento de la cabeza. Se ha planeado incrementar dos grados de libertad más, que corresponderían a un grado de libertad a cada brazo. Se detalla el tipo de mecanismo de movimiento para ejecutar los movimientos de los grados de libertad establecidos.

El mecanismo de la cabeza consta de dos servomotores acoplados mediante brackets para el movimiento en X y Y. Y el mecanismo de los brazos consta de dos servomotores para el movimiento en Y de cada brazo.

Ventajas

- Fácil de implementar
- Mecanismo modular
- Bajo costo

Desventajas

- Carga de movimiento depende del torque de los servomotores

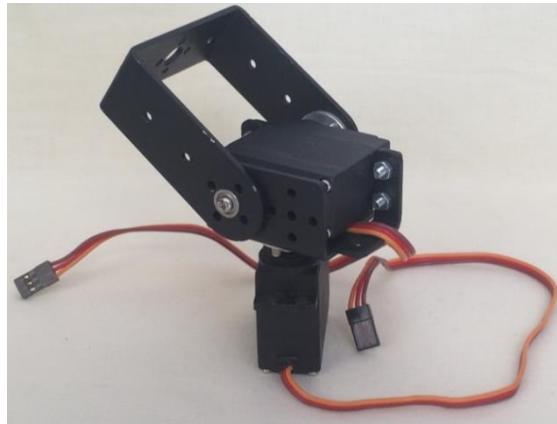


FIGURA 52. MECANISMO CABEZA
Fuente: Autor

El diseño del mecanismo cabeza mediante un software CAD con la distribución de los elementos para el movimientos en X y Y. Para el análisis se realiza una simulación en un software CAE.

- Portaservo1

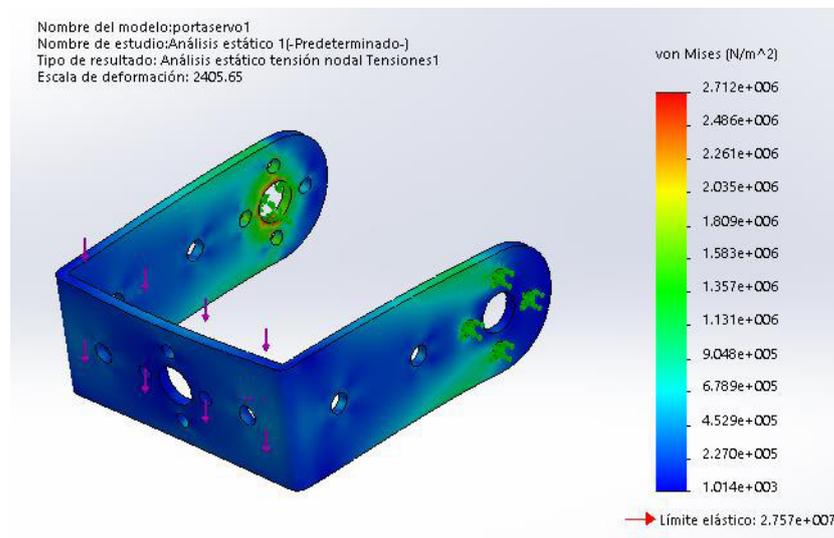


FIGURA 53. ESFUERZO DE PORTASERVO1
Fuente: Autor

En la Figura 53 se puede observar la simulación del portaservo1 que es la sujeción de la pantalla al servomotor. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del aluminio.

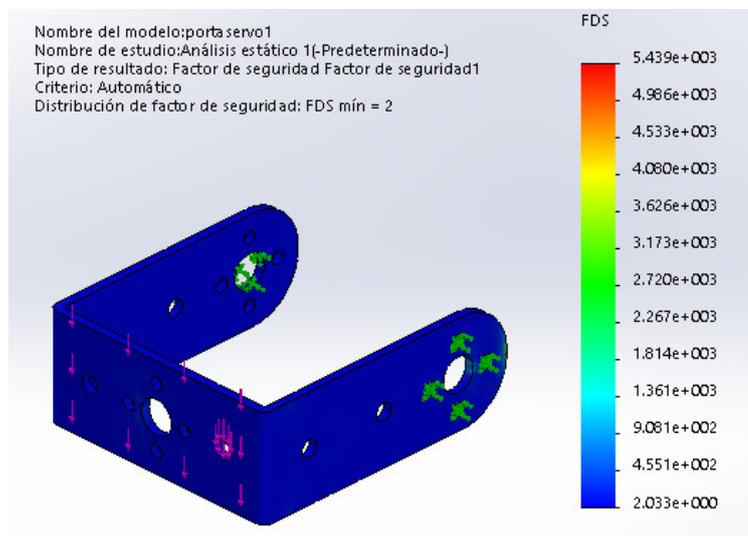


FIGURA 54. FACTOR DE SEGURIDAD EN PORTASERVO1

Fuente: Autor

Se observa en la Figura 54 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que la sujeción es válida.

- Portaservo

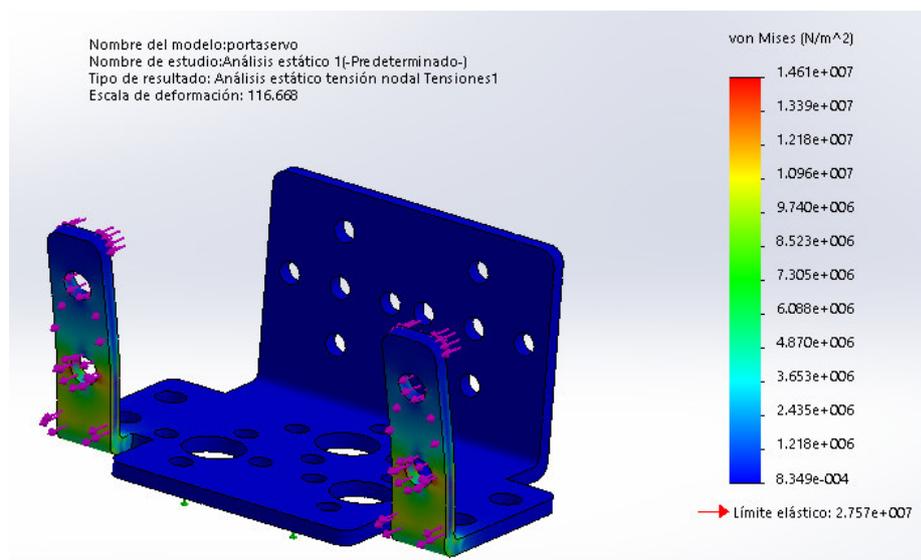


FIGURA 55. ESFUERZO DE VON MISES EN PORTASERVO

Fuente: Autor

En la Figura 55 se puede observar la simulación del portaservo que es la sujeción del mecanismo de la pantalla al servomotor. Se observa que el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del aluminio.

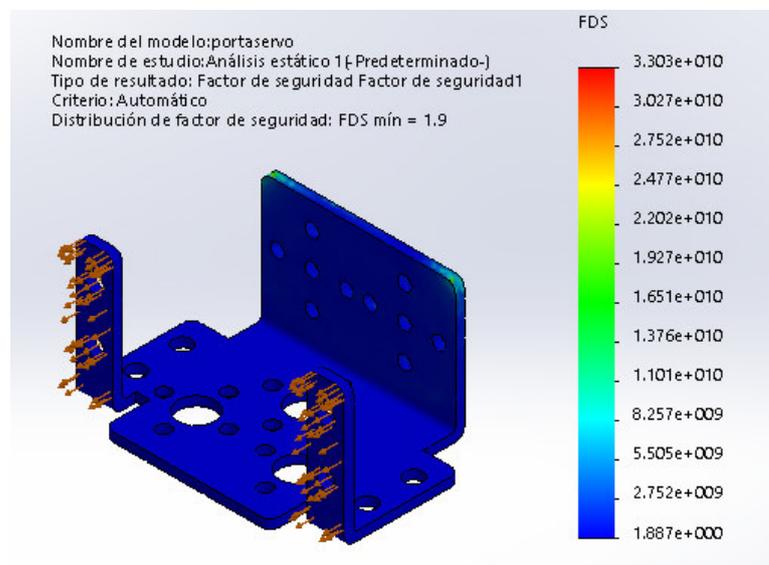


FIGURA 56. FACTOR DE SEGURIDAD EN PORTASERVO
 Fuente: Autor

Se observa en la Figura 56 que el factor de seguridad es mayor a 2, concluyendo que la sujeción es válida.

3.3.2.3. Módulo control

El software de control es uno de los componentes con más porcentaje de importancia en este proyecto, está directamente relacionado con el costo de desarrollo y ejecución. Se considera opciones open Source ya que es distribuido y desarrollado libremente. Se adquiere de forma gratuita y es libre de modificar la fuente del programa sin restricción de licencias.

Las opciones para el control de este proyecto son: a) *Python*, b) *Processing*.

a) *Python*

Python es un lenguaje de programación multiparadigma, permite varios estilos de programación: orientada a objetos, estructural y funcional.

Ventajas

- Rápido de desarrollar.

- Tiene integradas varias bibliotecas estándar.
- Lenguaje de programación de propósito general

Desventajas

- Curva de aprendizaje lento
- Los programas interpretados son más lentos que los compilados.

b) Processing

Processing es un lenguaje de programación basado en Java.

Ventajas

- Disponible para Windows, Linux y Mac OS
- Software con interfaz gráfica
- Fácil programación, prototipado rápido de aplicaciones.

Desventajas

- Trata con software muy variado

Criterios de evaluación para la selección del control

Se establecen los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Información
- Programación

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de software de control

En la Tabla 22 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 22
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL

	Costo	Información	Programación	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Información	0	-	0	1,00	0,17
Programación	0	1	-	2,00	0,33
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Python
- Concepto 2: Processing

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de software de control

En la Tabla 23 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 23
PONDERACIÓN DE COSTO PARA SOFTWARE DE CONTROL

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 24 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de información.

TABLA 24
PONDERACIÓN DE INFORMACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL

Información	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 25 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de programación.

TABLA 25
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA SOFTWARE DE CONTROL

Programación	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1,00	0,33
Concepto 2	1	-	2,00	0,67
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de software de control

TABLA 26
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE SOFTWARE DE CONTROL

	Costo	Información	Programación	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,25	0,08	0,11	0,44	2
Concepto 2	0,25	0,08	0,22	0,56	1

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con *Processing* para el control, ver Tabla 26.

Processing es un cuaderno de bocetos de software flexible y un lenguaje para aprender cómo codificar en el contexto de las artes visuales. Desde 2001, ha promovido la alfabetización de procesamiento de software dentro de las artes visuales y la cultura visual dentro de la tecnología. Hay decenas de miles de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan el procesamiento para el aprendizaje y la creación de prototipos. Desarrollado por el MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Medio Ambiente (IDE)

El entorno de procesamiento incluye un editor de texto, un compilador, y una ventana de visualización. Permite la creación de software dentro de un conjunto cuidadosamente diseñado de restricciones.

Para este proyecto este software sirve como plataforma de control gracias a sus librerías: OpenCV, GP4, Arduino; la función de cada librería en este proyecto se puede ver en la Tabla 27.

TABLA 27
FUNCIONES DE LIBRERÍAS DE *PROCESSING*

LIBRERÍA	FUNCIÓN
OpenCV	Procesamiento de imágenes
GP4	Interfaz de usuario – GUI
Arduino	Comunicación con el sistema embebido Arduino

Fuente: Autor

3.3.2.4. *Módulo electrónico y eléctrico*

El módulo eléctrico y electrónico está conformado por los sub-módulos: placa de desarrollo y actuadores.

3.3.2.4.1. Sub-módulo Placa de desarrollo

Placa de desarrollo hace referencia al sistema embebido que se va a utilizar para la recolección de datos, recepción y transmisión de información para el control de los movimientos de la cabeza y brazos del robot interactivo. Al ser que el desarrollo del proyecto sea de bajo costo se toma en consideración que el sistema embebido sea de código abierto.

Las opciones para la adquisición y mando de este proyecto son: a) Arduino y b) Raspberry.

a) *Arduino*

La compañía Arduino desde 2006 desarrolla placas de desarrollo que consisten en microcontroladores y un entorno de desarrollo (IDE)

Ventajas

- Bajo consumo energético.
- Bajo costo de adquisición.

- Diversidad de comunicación e interacción con “n” dispositivos.

Desventajas

- Capacidad de procesamiento limitada.
- Baja capacidad de memoria.

b) Raspberry

La fundación Raspberry Pi desde 2006 desarrolla PC's de placa única (SBC, por sus siglas en inglés). Se trata de una computadora completamente funcional.

Ventajas

- Bajo consumo energético.
- Soporta distribuciones Linux
- Bajo costo de adquisición.

Desventajas

- Necesita un sistema operativo para trabajar.
- Capacidad de procesamiento limitada.
- Incertidumbre de rendimiento a largo plazo.

Criterios de evaluación para la selección de tarjeta control

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Programación
- Disponibilidad

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de la tarjeta control

En la Tabla 28 se realiza la ponderación del criterio de evaluación en la selección de la tarjeta de control.

TABLA 28
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA TARJETA DE CONTROL

	Costo	Programación	Disponibilidad	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Programación	0	-	0	1,00	0,17
Disponibilidad	0	1	-	2,00	0,33
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Arduino
- Concepto 2: Raspberry

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de la tarjeta control

En la Tabla 29 se evalúa el peso específico del criterio de costo.

TABLA 29
PONDERACIÓN DE COSTO PARA TARJETA DE CONTROL

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 30 se evalúa el peso específico del criterio de programación.

TABLA 30
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA TARJETA DE CONTROL

Programación	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 31 se evalúa el peso específico del criterio de disponibilidad.

TABLA 31
PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA TARJETA DE CONTROL

Disponibilidad	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de tarjeta de control

TABLA 32
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE TARJETA DE CONTROL

	Costo	Programación	Disponibilidad	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,33	0,11	0,17	0,61	1
Concepto 2	0,17	0,06	0,17	0,39	2

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con Arduino como sistema de adquisición y mando, ver Tabla 32.

Arduino es una compañía de hardware libre, la cual desarrolla placas de desarrollo que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, y puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields) que expanden las características de funcionamiento de la placa Arduino.

El software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de *Processing* y lenguaje de programación basado en *Wiring*, así como en el cargador de arranque (*bootloader*) que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se programa a través de un computador, haciendo uso de comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial.

Entre estas placas de desarrollo podemos observar las características de algunas placas arduino como podemos observar en la Tabla 33.

TABLA 33
CARACTERÍSTICAS DE PLACAS ARDUINO

Modelo Características	Arduino Uno – R3	Arduino Mega 2560 – R3	Arduino Nano 5V/16Mhz
Microcontrolador	ATmega 328	ATmega2560	ATmega328
Voltaje de entrada	7-12V	7-12V	5-12V
Voltaje de salida	5V	5V	5V
Frecuencia del reloj	16Mhz	16MHz	16Mhz
Digital I/O	14	54	14
Entradas Analógicas	6	16	8
PWM	6	15	6
UART	1	4	1
Memoria Flash	32	256	32
Interfaz de programación	USB vía ATmega16U2	USB vía ATmega16U2	USB vía ATmega16U2
Tamaño	53,4x68,6mm	53,3x101,5mm	18,5x43.2mm

Fuente: [89]

La tarjeta Arduino a utilizar para el mando y control de este proyecto es el Arduino Nano. El Arduino Nano fue seleccionado principalmente por su versatilidad en cuanto a características técnicas como en sus dimensiones.

Se decidió utilizar dos tarjetas Arduino Nano. Una tarjeta para el control de los actuadores y la segunda tarjeta para las comunicaciones que se requiere para la pantalla y la interfaz de usuario.

3.3.2.4.2. Sub-módulo actuadores

Los actuadores de movimiento son los encargados de generar la energía rotacional a los componentes del robot interactivo. Existen diferentes tipos de actuadores móviles, entre los que se incluyen actuadores neumáticos, hidráulicos y eléctricos. Para el desarrollo de este proyecto las dos primeras opciones no son óptimas ya que requieren de elementos más costosos. Con los actuadores eléctricos podemos encontrar a motores de corriente alterna y continua. Los motores de corriente alterna

son más costosos comparados con los de corriente continua. La selección de los motores para el robot interactivo estará orientada a los diferentes tipos de motores de corriente continua.

Las opciones para los actuadores de este proyecto son: a) Motor a pasos, b) Servomotor y c) Motor DC

a) *Motor paso a paso*

Es un motor electromecánico que convierte pulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos.

Ventajas

- Exactitud en la posición y repetición de movimientos.
- Tienen un error de 3 a 5 % del paso y dicho error no es acumulativo de un paso a otro.
- No requiere de sensores para medir la velocidad de trabajo.
- Voltajes de operación de 5 a 24 voltios.

Desventajas

- Difícil de operar a altas velocidades.
- Si no es controlado adecuadamente puede entrar en un fenómeno de resonancia.

b) *Servomotor*

Los servomotores son elementos para el control de posicionamiento ya que tiene un eje de rendimiento controlado que está conectado al motor del servo que tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro.

Ventajas

- Altos torques de operación.
- Bajas corrientes de arranque.
- Control sencillo.

Desventajas

- Rápido desgaste de rodamientos.

- Operación ruidosa.

c) *Motor DC*

Es un motor que convierte la corriente continua en energía mecánica, gracias a la interacción de su campo magnético.

Ventajas

- Voltajes de operación de 1.5V a 36V.
- Operación silenciosa.
- Fácil adquisición.

Desventajas

- Complejidad de control.
- Requiere de sensores para medir velocidad.
- Pierde el torque cuando esta e reposo.
- Complejidad en la variación de velocidad de rotación.

Criterios de evaluación para la selección de los actuadores de movimiento

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Control
- Costo
- Implementación

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de los actuadores de movimiento

Se realiza la ponderación de los criterios de evaluación para los actuadores de movimientos, ver Tabla 34.

TABLA 34
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO

	Control	Costo	Implementación	$\Sigma + 1$	%
Control	-	0	1	2,00	0,33
Costo	1	-	1	3,00	0,50
Implementación	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Motor paso a paso
- Concepto 2: Servomotor
- Concepto 3: Motor DC

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de los actuadores de movimiento

En la Tabla 35 se evaluó el peso específico del criterio de control.

TABLA 35
PONDERACIÓN DE CONTROL PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO

Control	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1	2,00	0,33
Concepto 2	1	-	1	3,00	0,50
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 36 se evaluó el peso específico del criterio de costo.

TABLA 36
PONDERACIÓN DE COSTO PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO

Costo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	0	2,00	0,33
Concepto 2	0	-	0	1,00	0,17
Concepto 3	1	1	-	3,00	0,50
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 37 se evaluó el peso específico del criterio de implementación.

TABLA 37
PONDERACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN PARA ACTUADORES DE MOVIMIENTO

Implementación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	1	3,00	0,60
Concepto 2	0	-	0	1,00	0,20
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,20
	Σ			5,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de población de aplicación

TABLA 38
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE ACTUADORES DE MOVIMIENTO

	Control	Costo	Implementación	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,11	0,17	0,10	0,38	2
Concepto 2	0,17	0,25	0,03	0,45	1
Concepto 3	0,06	0,08	0,03	0,17	3

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con servomotores como actuadores de movimiento.

Los servomotores de corriente continua es un elemento diseñado para control de posicionamiento ya que tiene un eje de rendimiento controlado que está conectado al motor del servo que tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro. La cantidad de tensión aplicada al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así, si el eje necesita regresar una distancia grande, el motor regresará a toda velocidad. Si este necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor correrá a una velocidad más lenta. A esto se le llama control proporcional.

El control proporcional es una característica muy imprescindible por el cual se eligió el servomotor para que transmita el movimiento y la dirección en el robot social. Los servomotores van a ser utilizados para la transmisión del movimiento en la pantalla que va a tener el robot, como en el movimiento de los brazos.

Dimensionamiento de los servomotores

En esta etapa se va a dimensionar los cuatro servomotores. Al realizar el diseño en un software CAD conocemos las propiedades físicas de cada una de las piezas. En la tabla se puede observar las propiedades físicas de los brazos del robot interactivo.

Para determinar el torque comercial de servomotores es necesario tomar en cuenta ciertos factores:

$$T = \frac{Fact_{seg}}{\eta(perdidas)} Tt$$

Dónde:

Fact_{seg}: Factor de seguridad para el mecanismo.

η: Rendimiento del motor.

Perdidas: Perdidas por transmisión, fricción y ajuste de elementos.

Tt: Torque teórico necesario.

$$Fact_{seg} = 2$$

$$\eta = 0,8$$

$$Perdidas = 0,5$$

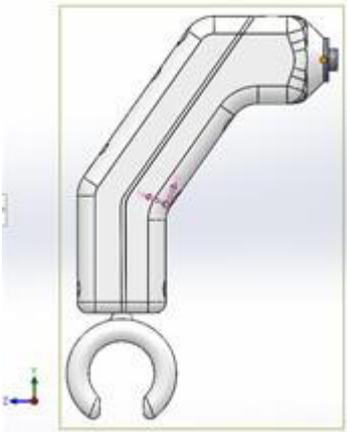
$$T = \frac{2}{0,8(0,5)} Tt$$

$$\mathbf{T = 5 \times Tt}$$

Cálculo de torque de servomotores para movilidad de brazos

Con uso del software CAD se saca el centro de masa con respecto al eje de movimiento del brazo, como se muestra en la Tabla 39. Este cálculo sirve tanto para el brazo izquierdo como para el brazo derecho.

TABLA 39
PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE BRAZO

PIEZA	GRÁFICA	ENSAMBLE	PROPIEDADES FÍSICAS
Brazo			Masa: $W = 116,97g$ Centro de masa: $x = 0mm$ $y = -66,47mm$ $z = 71,78mm$
Mano			

Fuente: Autor

Dónde:

x: distancia hacia el centro en el plano *x*

y: distancia hacia el centro en el plano *y*

z: distancia hacia el centro en el plano *z*

$$T_t = \text{peso} \times \text{Distancia el eje de giro}$$

$$T_t = 0,11697\text{kg} \times 7,178\text{cm}$$

$$T_t = 0,84 \text{ kg. cm}$$

$$T = 5 \times 0,84 \text{ kg. cm}$$

$$\mathbf{T = 4,2 \text{ kg. cm}}$$

Se elige con un margen amplio para que se pueda colocar piezas o juguetes en los brazos.

$$W = 0,11697 \text{ kg}$$

$$W_j = 0,25 \text{ kg}$$

$$d = 7,178 \text{ cm}$$

$$T_t = (0,11697 + 0,2) \text{ kg} \times 7,178 \text{ cm}$$

$$T_t = 2,63 \text{ cm}$$

$$T = 5 \times 2,63 \text{ kg. cm}$$

$$T = 13,17 \text{ kg. cm}$$

En los cálculos anteriores se puede observar que, a un peso de 0,25 kg se requiere un torque de 13,17 kg.cm. Se puede colocar un peso adicional a los brazos de 0 a 250 gramos.

Realizamos los cálculos de torque requerido mediante un software CAE para comparar los datos obtenidos teóricamente.

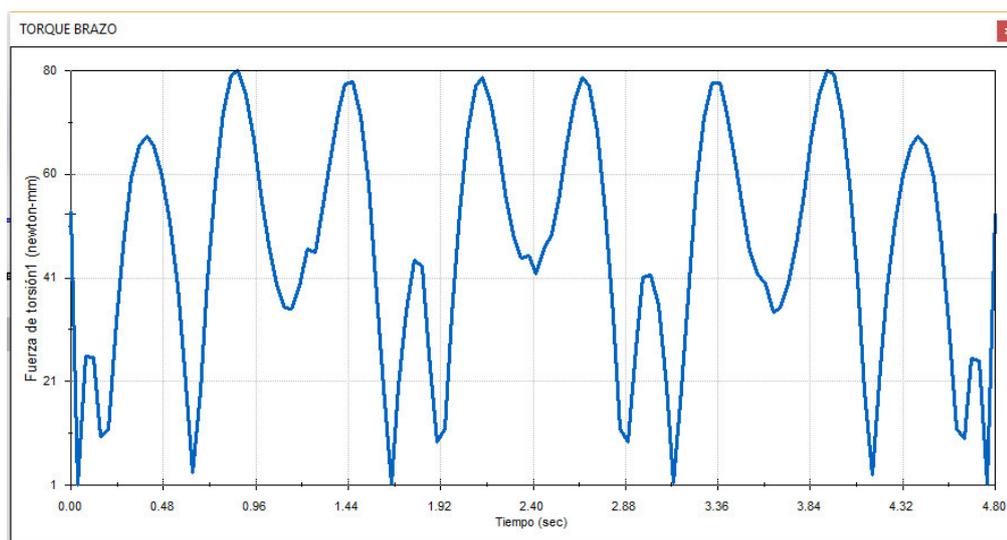


FIGURA 57. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE DEL BRAZO

Fuente: Autor

En la Figura 57 se muestra la gráfica con el máximo torque requerido que es 80 N.mm

$$T_p = 80 \text{ N. mm}$$

$$T_p = 80 \text{ N. mm} \times \frac{1 \text{ kg}}{9,81 \text{ N}} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}}$$

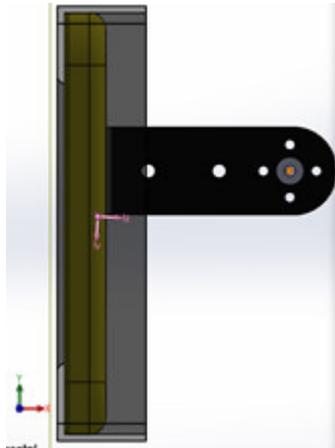
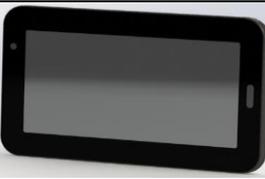
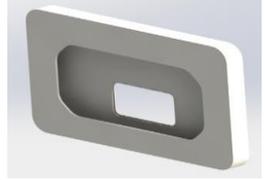
$$T_p = 0,82 \text{ kg. cm}$$

Como se puede apreciar el valor que despliega la gráfica es el mismo que el calculado. Se concluye que el software es apto para dimensionar los servomotores.

Calculo de torque de servomotores para movilidad de la cabeza

Con uso del software CAD se saca el centro de masa con respecto al eje de movimiento alrededor del eje y, ver Tabla 40.

TABLA 40
PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE CABEZA

PIEZA	GRÁFICA	ENSAMBLE	PROPIEDADES FÍSICAS
Bracket			Masa: $W = 486,49g$ Centro de masa: $x = -54,32mm$ $y = -12,98mm$ $z = -28,91mm$
Estuche			
Pantalla			
Máscara			

Fuente: Autor

Dónde:

x: distancia hacia el centro en el plano x

y: distancia hacia el centro en el plano y

z: distancia hacia el centro en el plano z

$$T_t = \text{peso} \times \text{Distancia el eje de giro}$$

$$T_t = 0,48649 \text{ kg} \times 5,432 \text{ cm}$$

$$T_t = 2,65 \text{ kg. cm}$$

$$T = 5 \times 2,65 \text{ kg. cm}$$

$$T = 13,25 \text{ kg. cm}$$

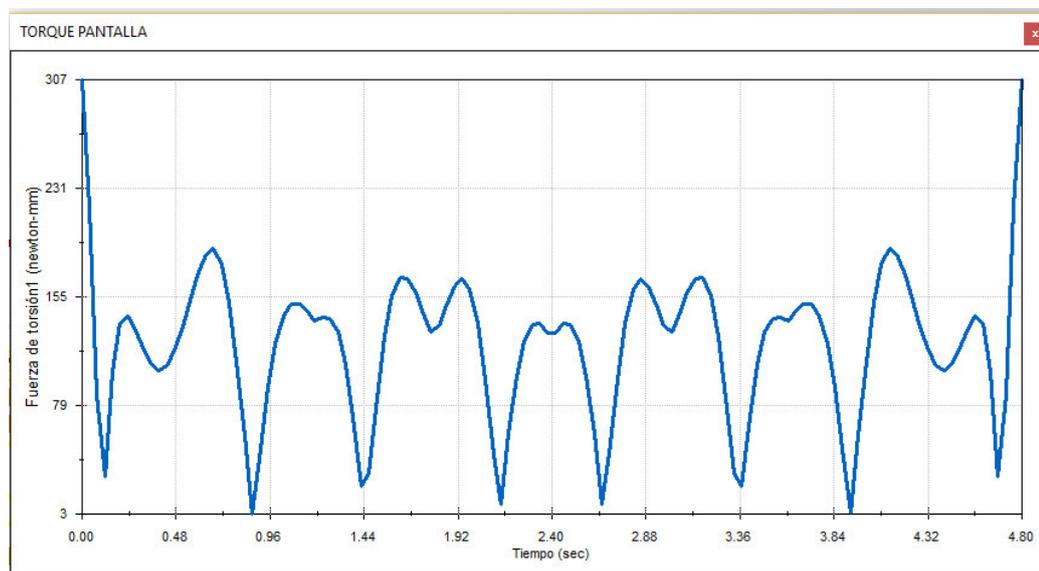
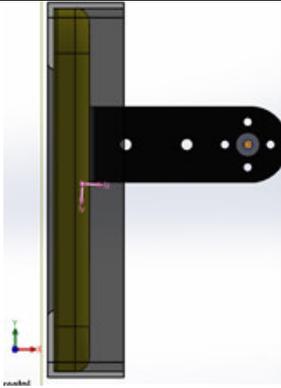
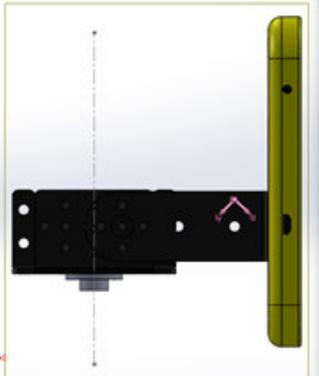
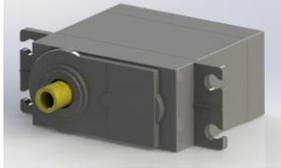


FIGURA 58. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE LA CABEZA EJE Y
Fuente: Autor

Cálculo de torque de servomotores para movilidad del cuello

Con uso del software CAD se saca el centro de masa con respecto al eje de movimiento alrededor del eje y, ver Tabla 41.

TABLA 41
PROPIEDADES FÍSICAS DE ENSAMBLE CUELLO

PIEZA	GRÁFICA	ENSAMBLE	PROPIEDADES FÍSICAS
Ensamble cabeza			<p>Masa: $W = 509,79 \text{ g}$</p> <p>Centro de masa: $x = 50,02 \text{ mm}$ $y = 26,73 \text{ mm}$ $z = -13,27 \text{ mm}$</p>
Servomotor			
Bracket			

Fuente: Autor

Se calcula el torque necesario mediante un análisis de movimiento. Como resultado se obtiene la siguiente gráfica.

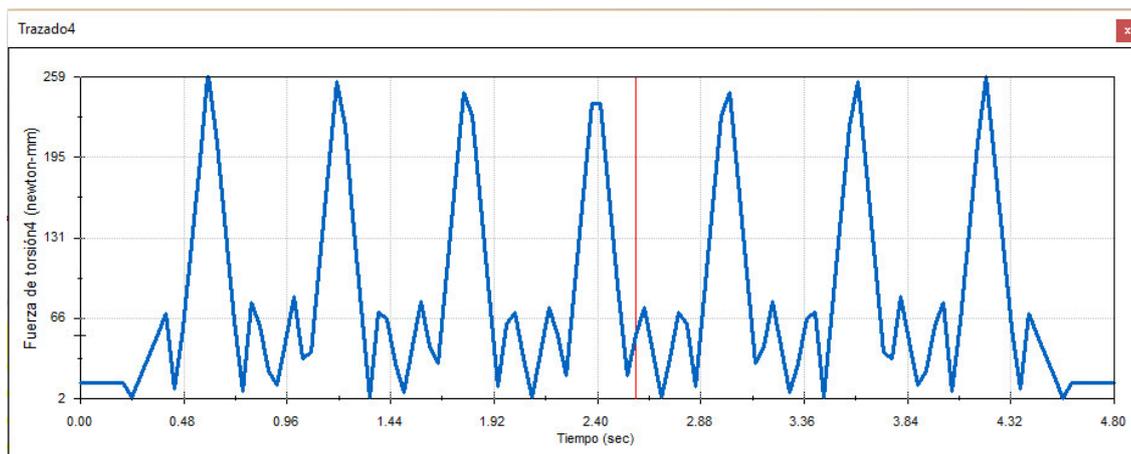


FIGURA 59. TORQUE REQUERIDO POR ENSAMBLE CUELLO

Fuente: Autor

En la Figura 59 se muestra la gráfica con el máximo torque requerido que es 259 N.mm

$$T_t = 259 \text{ N. mm}$$

$$T_t = 2,64 \text{ kg. cm}$$

$$T = 5 \times 2,64 \text{ kg. cm}$$

$$\mathbf{T = 13,2 \text{ kg. cm}}$$

En conclusión podemos observar en la Tabla 42 los torques requeridos para cada servomotor.

TABLA 42
TORQUE REQUERIDO PARA SERVOMOTORES

MOVIMIENTO	TORQUE REQUERIDO	TORQUE SERVOMOTOR
Brazo Izquierdo y Derecho	13,17 kg. cm	15 kg. cm
Cabeza	13,25 kg. cm	15 kg. cm
Cuello	13,2 kg. cm	15 kg. cm

Fuente: Autor

Las características del servomotor MG-995 se muestran en la Tabla 43

TABLA 43
CARACTERÍSTICAS DE SERVOMOTOR MG995

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Velocidad de funcionamiento	4,8 V sin carga : 0,17 s / 60 grados
	6,0 V sin carga : 0,13 s / 60 grados
Torque	4,8 V 13 kg / cm
	6,0 V 15 kg / cm
Rango de temperatura	-30 a 60 °C
Tensión de funcionamiento	4,8 – 7,2 Voltios
Peso	55 gramos
Dimensiones	40,6 x 19,8 x 37,8 mm

Fuente: Autor

3.3.2.5. Módulo tele-operación

El módulo de tele-operación está conformado por los sub-módulos: dispositivo de control periférico y la transmisión de voz. La arquitectura de la teleoperación corresponde al control directo.

3.3.2.5.1. Sub-módulo dispositivo de control periférico

Las opciones para el dispositivo de control periférico de este proyecto son: a) Joystick, b) Teclado.

a) Joystick

A través de un joystick se conseguirá controlar a distancia los movimientos del robot. Constará de un módulo joystick combinado de pulsadores para los diferentes movimientos.

Ventajas

- Pequeñas dimensiones
- Peso ligero

- Maniobrable
- Fácil comunicación

Desventajas

- Manufactura compleja
- Circuito de acondicionamiento

b) Teclado

El teclado es un dispositivo periférico con una gran cantidad de teclas, mediante una combinación de comandos se podrá controlar el robot.

Ventajas

- Existencia en el mercado
- Fácil comunicación

Desventajas

- Monótono
- Confusión con la gran variedad de comandos para un control continuo

Criterios de evaluación para la selección de dispositivo de control periférico

Se establecen los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Programación
- Control

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de dispositivo de control periférico

Se realiza la ponderación de los criterios de evaluación para el dispositivo de control, ver Tabla 44.

TABLA 44
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO

	Costo	Programación	Control	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	0	0	1,00	0,17
Programación	1	-	0	2,00	0,33
Control	1	1	-	3,00	0,50
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Joystick
- Concepto 2: Teclado

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en el dispositivo de control periférico

En la Tabla 45 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 45
PONDERACIÓN DE COSTO PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1,00	0,33
Concepto 2	1	-	2,00	0,67
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 46 se realiza una evaluación del peso específico del criterio de programación.

TABLA 46
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO

Programación	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 47 se realiza la evaluación del peso específico del criterio de control.

TABLA 47
PONDERACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO

Control	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de dispositivo de control periférico

TABLA 48
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE CONTROL PERIFÉRICO

	Costo	Programación	Control	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,06	0,17	0,33	0,56	1
Concepto 2	0,11	0,17	0,17	0,44	2

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con joystick para el control de los movimientos del robot.



FIGURA 60. DISEÑO DEL JOYSTICK

Fuente: Autor

3.3.2.5.2. Sub-módulo transmisión de voz

En módulo de transmisión de voz permite la comunicación e interacción del especialista a través del robot interactivo. Se realizara usando un amplificador de audio, el especialista hablara a través de un micrófono a la distancia y se podrá transmitir la voz y reproducir automáticamente en un parlante.

En este caso para la transmisión de voz se utilizó un módulo amplificador de voz que es compatible con la plataforma arduino, ver Figura 61.

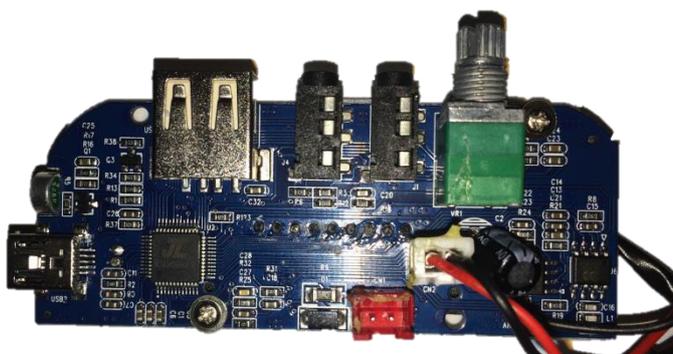


FIGURA 61. MÓDULO AMPLIFICADOR

Fuente: Autor

En la Tabla 49 se puede observar las características relevantes del amplificador a implementar.

TABLA 49
CARACTERÍSTICAS AMPLIFICADOR

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Tensión de funcionamiento	5,0 Voltios
Potencia	Máx. 3W
Jack	3,5 mm
Tipo	Monofónico
Compatibilidad	Arduino y Raspberry

Fuente: Autor

El audio será transmitido a través de un micrófono. El micrófono debe ser monofónico unidireccional. Para que no tenga ruido al momento de transferir la voz del especialista se debe tener un micrófono con una ganancia relativamente baja con cancelación de ruido. El micrófono a utilizar se puede observar en la Figura 62.



FIGURA 62. MICRÓFONO

Fuente: Autor

En la Tabla 50 se puede observar las características relevantes del micrófono a implementar.

TABLA 50
CARACTERÍSTICAS MICRÓFONO

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Tipo	Micrófono condensador
Mono/Estéreo	Monofónico
Direccionalidad	Unidireccional
Ganancia	-58dB
Voltaje de funcionamiento	5,0 Voltios
Jack	3,5 mm

Fuente: Autor

3.3.2.5.3. Sub-módulo diseño interfaz

En esta sección para una interfaz humano máquina para el especialista se hace referencia a que herramienta se va a utilizar para el desarrollo.

Las opciones para el HMI especialista de este proyecto son: a) GUI Programming, b) Qt Creator.

a) *GUIDE*

GUIDE (entorno de desarrollo de GUI en MATLAB) proporciona herramientas para diseñar interfaces de usuario para Apps personalizadas. Mediante el editor de diseño de GUIDE, es posible diseñar gráficamente la interfaz de usuario.

Ventajas

- GUIDE genera entonces de manera automática el código de MATLAB para construir la interfaz
- Rápido de desarrollar.
- Curva de aprendizaje rápida.

Desventajas

- Alto rendimiento computacional (MATLAB).
- Altos costos de adquisición.
- No es de código abierto.

b) *Qt Creator*

Qt Creator es un entorno completo de desarrollo integrado (IDE) para la creación de aplicaciones e interfaces de usuario.

Ventajas

- Posee un depurador visual y un layout de GUI integrado
- Aplicaciones de interfaz de usuario basadas en widgets Qt con el editor integrado, Qt Designer.
- Compilar, ejecutar y desarrollar proyectos Qt en múltiples plataformas de escritorio y móviles.

- Es de código abierto.

Desventajas

- Software muy variado (Contribuciones de la comunidad pueden no ser estables)

Criterios de evaluación para la selección de software de diseño HMI especialista

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Programación
- Control

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de software de diseño HMI especialista

Se realiza la ponderación de los criterios de evaluación para el software HMI , ver Tabla 51.

TABLA 51
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA HMI ESPECIALISTA

	Costo	Programación	Control	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Programación	0	-	0,5	1,50	0,25
Control	0	0,5	-	1,50	0,25
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: GUIDE MATLAB
- Concepto 2: Qt Creator
- Concepto 3: GUI Processing

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de software de diseño HMI especialista

En la Tabla 52 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 52
PONDERACIÓN DE COSTO PARA HMI ESPECIALISTA

Costo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	0	1,00	0,17
Concepto 2	1	-	0,5	2,50	0,42
Concepto 3	1	0,5	-	2,50	0,42
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 53 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de programación.

TABLA 53
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA HMI ESPECIALISTA

Programación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	0	1,00	0,17
Concepto 2	1	-	1	3,00	0,50
Concepto 3	1	0	-	2,00	0,33
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 54 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de control.

TABLA 54
PONDERACIÓN DE CONTROL PARA HMI ESPECIALISTA

Control	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	0	2,00	0,33
Concepto 2	0	-	0	1,00	0,17
Concepto 3	1	1	-	3,00	0,50
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de software de diseño HMI especialista

TABLA 55
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE HMI ESPECIALISTA

	Costo	Programación	Control	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,08	0,04	0,08	0,21	3
Concepto 2	0,21	0,10	0,04	0,35	2
Concepto 3	0,21	0,10	0,13	0,44	1

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con la aplicación GUI de Processing para la creación del HMI especialista. Al trabajar con la interfaz gráfica del software de control Processing da un control más óptimo de las variables con las que se va a visualizar y utilizar para el HMI del Especialista.

El diseño de dicha interfaz es óptimo para que el especialista pueda manejarlo con facilidad sin ningún inconveniente técnico. El esquema del diseño de la interfaz se lo puede observar en la Figura 63.



FIGURA 63. ESQUEMA DE DISEÑO DEL HMI DE ESPECIALISTA

Fuente: Autor

El esquema representa cómo va el diseño de la interfaz de usuario del especialista, para observar el diagrama de flujo ver en anexos el diagrama de programación de interfaz de usuario. Mediante esta interfaz el especialista va a poder visualizar el

entorno y la interacción del paciente, y visualizar lo que en la interfaz de usuario se va desarrollando. Tiene un control de movimiento que mediante botones puede ser manual y automático. La opción de control manual, los movimientos va a ser controlado por el especialista a través del joystick cada uno de las partes: cabeza, brazo derecho, brazo izquierdo; se puede visualizar la posición de la cabeza y de los brazos. La opción de control automático los movimientos del robot se basan en el seguimiento facial del paciente. Esta opción es para poder llamar la atención del paciente.

Por ultimo en la opción de control de emociones se desplegara una animación de cada una de las opciones y un pequeño juego de asociar la imagen de la palabra que le pide la aplicación.

3.3.2.6. *Módulo Aplicación tratamiento*

3.3.2.6.1. Sub-módulo Apariencia

a) *Apariencia de Mascota*

Su apariencia es asociada a la de un animal real, como se muestra en la Figura 64.



FIGURA 64. ROBOT PARO

Fuente: [90]

b) *Apariencia Caricaturesca*

Su apariencia es simple que se materializa de un bosquejo a lo tridimensional. Puede expresar emociones y movimientos, como se observa en la Figura 65.



FIGURA 65. ROBOT AIDA

Fuente: [91]

c) Apariencia Humana

Su apariencia es asociada a la de una persona real, ver Figura 66



FIGURA 66. ROBOT HUMANOIDE – FACE

Fuente: [29]

Criterios de evaluación para la selección del software de control

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Interacción
- Funcionalidad
- Facilidad de fabricación

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de apariencia

Se realiza en la Tabla 56 la ponderación de cada criterio de evaluación de la apariencia

TABLA 56
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA APARIENCIA

	Interacción	Funcionalidad	Facilidad de fabricación	$\Sigma + 1$	%
Interacción	-	1	1	3,00	0,50
Funcionalidad	0	-	0	1,00	0,17
Facilidad de fabricación	0	1	-	2,00	0,33
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Mascota
- Concepto 2: Caricaturesca
- Concepto 3: Humana

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de apariencia

En la Tabla 57 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de interacción.

TABLA 57
PONDERACIÓN DE INTERACCIÓN PARA APARIENCIA

Interacción	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1	2,00	0,33
Concepto 2	1	-	1	3,00	0,50
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 58 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de funcionalidad.

TABLA 58
PONDERACIÓN DE FUNCIONALIDAD PARA APARIENCIA

Funcionalidad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1	2,00	0,33
Concepto 2	1	-	1	3,00	0,50
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

En la Tabla 59 se realizó la evaluación del peso específico del criterio de facilidad de fabricación.

TABLA 59
PONDERACIÓN DE FACILIDAD DE FABRICACIÓN PARA APARIENCIA

Facilidad de fabricación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1	2,50	0,42
Concepto 2	0,5	-	1	2,50	0,42
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de apariencia.

TABLA 60
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE APARIENCIA

	Interacción	Funcionalidad	Facilidad de fabricación	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,17	0,11	0,07	0,35	2
Concepto 2	0,25	0,17	0,07	0,49	1
Concepto 3	0,08	0,06	0,03	0,17	3

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con apariencia caricaturesca. Al analizar los diferentes robots caricaturescos existentes se han encontrado un sin número de robots con apariencias únicas y funciones específicas para cada aplicación. Se ha decidido realizar un diseño propio con apariencia tierna.

El robot interactivo con apariencia tierna nos permitirá obtener la atención de los pacientes con TEA y de esta manera realizar el tratamiento. La distribución modular en el interior de su estructura nos permitirá la distribución correcta de los sub-módulos del robot interactivo. Para el recubrimiento externo, se implementara foamy ya que es un material liviano, lavable, no toxico para los pacientes.

3.3.2.6.2. Sub-módulo HMI

La interfaz humana máquina es aquella que nos brinda la facilidad de interactuar entre el usuario y la máquina. Para el desarrollo de este proyecto se realiza el diseño de dos HMI: HMI paciente y HMI especialista.

Para el desarrollo del HMI paciente se selecciona una Tablet de bajo costo que sea con tecnología TFT. Una Tablet de bajo costo con la tecnología TFT que se requiere es la Samsung Galaxy Tab E, ver Figura 67. En la Tabla 61 se puede observar las características principales de la Tablet a implementar.



FIGURA 67. TABLET
Fuente: [92]

TABLA 61
CARACTERÍSTICAS TABLET

TABLET	
Grosor	9,7 mm
Ancho	116,4 mm
Largo	193,4 mm
Peso	310 gramos
PANTALLA	
Tamaño	7" (178 mm)
Tecnología	TFT
Resolución	1024 x 600 (WSVGA)
Número de colores	16M

Fuente: [92]

En esta sección para una interfaz humano máquina para el paciente se hace referencia a que herramienta se va a utilizar para el desarrollo.

Las opciones para el HMI paciente de este proyecto son: a) App Inventor, b) Android Studio y c) App Mark

a) App Inventor

App Inventor es una aplicación originalmente desarrollada por Google y mantenida ahora por el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Google puso fin al desarrollo el 31 de diciembre de 2011 cediéndole el código al MIT, quién lo ha puesto a disposición de todos.

Ventajas

- No es necesario instalar un IDE.
- Nos permite descargar la aplicación mediante el .apk a nuestro pc ya sea para compartirla o instalarla a nuestro dispositivo.
- Utiliza una interfaz gráfica, muy similar al Scratch y el StarLogo.

Desventajas

- No genera código el Java para posteriores desarrollos más profundos.
- Solo funciona con conexión a Internet.
- Solo se puede desarrollar para Android.

b) Android Studio

Android Studio es un nuevo entorno de desarrollo integrado para el sistema operativo Android lanzado por Google, diseñado para ofrecer nuevas herramientas para el desarrollo de aplicaciones.

Ventajas

- Entorno robusto
- Fácil comprobar el funcionamiento en diferentes tipos de dispositivos.
- Emulación integrado, permite ver los cambios que realizamos en nuestra aplicación en tiempo real.

Desventajas

- Es necesario disponer del Software Developer Kit (SDK) de Android así como Java Developer Kit (JDK)

c) App Makr

AppMakr es una plataforma de creación de apps, que permite a cualquiera desarrollar su propia app de iPhone, Android y sitios web.

Ventajas

- Para diferentes tipos de sistemas operativos.
- Bajo costo y rápida implementación
- Es autogestionable.

Desventajas

- Para tener más beneficios de la aplicación se requiere de un costo.
- Se trabaja con plantillas y código reutilizable que limitan opciones de diseño.
- No se recomienda diseño muy elaborado pues no permiten muchos cambios en el diseño y estructura de la app.

Criterios de evaluación para la selección de software de diseño HMI paciente

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Programación
- Control

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección de software de diseño HMI paciente

TABLA 62
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA HMI PACIENTE

	Costo	Programación	Control	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Programación	0	-	1	2,00	0,33
Control	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: App Inventor
- Concepto 2: Android Studio
- Concepto 3: App Makr

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección de software de diseño HMI paciente

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 63
PONDERACIÓN DE COSTO PARA HMI PACIENTE

Costo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	1	3,00	0,50
Concepto 2	0	-	1	2,00	0,33
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de programación.

TABLA 64
PONDERACIÓN DE PROGRAMACIÓN PARA HMI PACIENTE

Programación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	1	3,00	0,50
Concepto 2	0	-	1	2,00	0,33
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de control.

TABLA 65
PONDERACIÓN DE CONTROL PARA HMI PACIENTE

Control	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1	2,50	0,42
Concepto 2	0,5	-	1	2,50	0,42
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa de software de diseño HMI paciente.

TABLA 66
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE HMI PACIENTE

	Costo	Programación	Control	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,25	0,17	0,07	0,49	1
Concepto 2	0,17	0,11	0,07	0,35	2
Concepto 3	0,08	0,06	0,03	0,17	3

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con la aplicación APP Inventor para la creación del HMI paciente.

La aplicación APP Inventor no necesita de instalación ya que es una aplicación web y se requiere ingresar al link de la aplicación con una cuenta propia de Gmail.

La aplicación consta de una interfaz de diseño de las pantallas y botones, como se observa en la Figura 68.

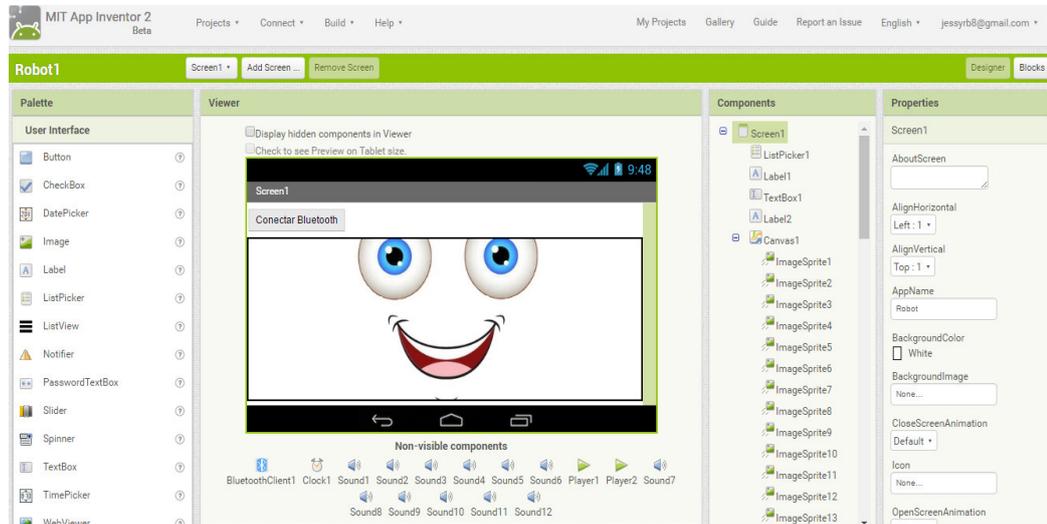


FIGURA 68. INTERFAZ DE DISEÑO DE APP INVENTOR2

Fuente: Autor

La aplicación también consta de una interfaz de programación en bloques. Esta programación es parecida a la programación en Scratch, ver Figura 69.

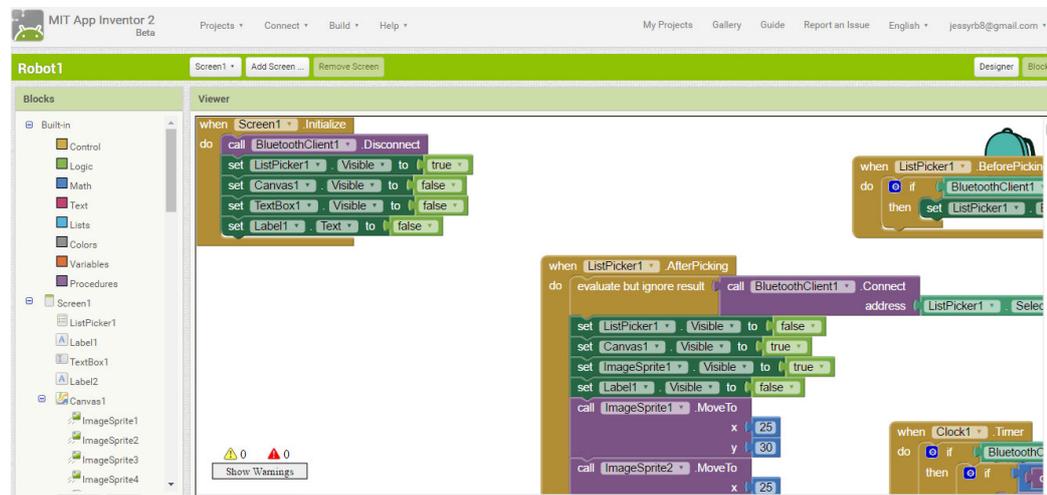


FIGURA 69. INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN EN BLOQUES APP INVENTOR2

Fuente: Autor

Se realiza un esquema de la programación de la interfaz de usuario, ver anexo diagrama de flujo de programación de aplicación móvil en Android. La aplicación

abarca varios campos del desarrollo de los pacientes. Las imágenes ocupadas para el desarrollo de la aplicación son libres de derecho de autor.



FIGURA 70. INTERFAZ DE HMI PACIENTE

Fuente: Autor

En la Figura 70 se puede observar la pantalla de visualización general del HMI paciente, con el cual se va a empezar la interacción con los pacientes con TEA.

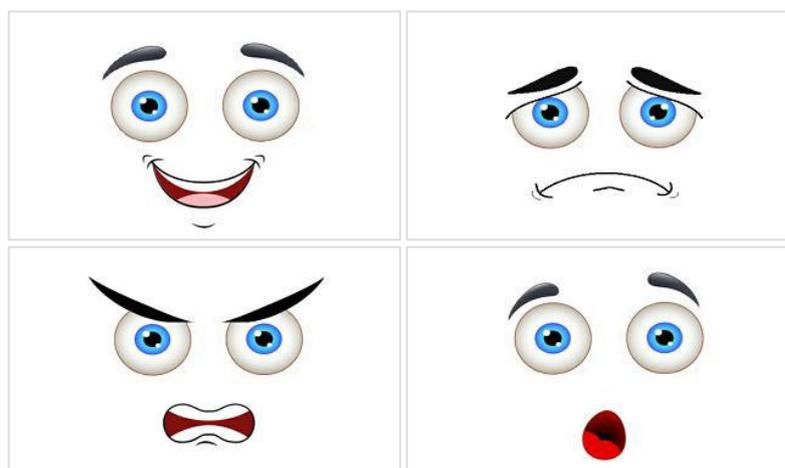


FIGURA 71. INTERFAZ DE HMI EMOCIONES

Fuente: Autor

En la Figura 71 se puede visualizar las emociones que se despliega, el control es a través del HMI especialista. Las emociones que se pueden seleccionar son: feliz, triste, enojado y sorprendido. El especialista tendrá el control del despliegue del juego en la interfaz HMI paciente.



FIGURA 72. INTERFAZ DE HMI JUEGO

Fuente: Autor

3.3.2.7. Módulo Visión artificial

En el procesamiento de imágenes hace referencia al tipo de cámara que se va a utilizar para el procesamiento de imágenes para el seguimiento del rostro del paciente. La cámara es la encargada de recolectar las imágenes del entorno donde el robot interactúa con el paciente, estas imágenes son procesadas en la etapa de adquisición y mando permitiendo hacer el seguimiento de rostro.

Las opciones para el procesamiento de imágenes de este proyecto son: a) Cámara Web y b) Kinect.

a) Cámara Web

Una cámara web es una cámara digital conectada a una computadora. Puede capturar imágenes y transmitir las. El uso de este tipo de cámaras en la actualidad son muy utilizadas en mensajería instantánea o video llamadas, también son utilizadas para proyectos robóticos con el fin de recolectar imágenes y procesarlas.

Ventajas

- Buena calidad de imagen a bajas resoluciones.
- Existe una variedad de controladores para este tipo de cámaras.
- Funciona con puertos USB o 5V_{DC}.
- Tamaño reducido.

Desventajas

- Imagen no estable en resoluciones altas.
- Ajuste de posición independiente de la cámara.

b) Kinect

Kinect es un controlador de juego libre y entretenimiento. Fue desarrollado por Microsoft para la video consola Xbox 360. El uso de su cámara RGB y las funciones de profundidad en aplicaciones de visión artificial ha ido incrementando desde el 2010, debido a la facilidad de uso por su controlador.

Ventajas

- Controladores de buena calidad.
- Controlador para sistema GNU/Linux.
- Buena resolución de imágenes.

Desventajas

- Requiere de una fuente AC/DC.
- Alto costo de adquisición.
- Tamaño considerablemente grande.

Criterios de evaluación para la selección del dispositivo para el procesamiento de imágenes

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo
- Precisión
- Robustez

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección del dispositivo para el procesamiento de imágenes

TABLA 67
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES

	Costo	Precisión	Robustez	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Precisión	0	-	0,5	1,50	0,25
Robustez	0	0,5	-	1,50	0,25
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Cámara Web
- Concepto 2: Kinect

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección del dispositivo para el procesamiento de imágenes

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 68
PONDERACIÓN DE COSTO PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Costo	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,67
Concepto 2	0	-	1,00	0,33
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de precisión.

TABLA 69
PONDERACIÓN DE PRECISIÓN PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Precisión	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1,50	0,50
Concepto 2	0,5	-	1,50	0,50
	Σ		3,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de robustez.

TABLA 70
PONDERACIÓN DE ROBUSTEZ PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Robustez	Concepto 1	Concepto 2	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	2,00	0,50
Concepto 2	1	-	2,00	0,50
	Σ		4,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa del dispositivo para el procesamiento de imágenes

TABLA 71
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

	Costo	Programación	Disponibilidad	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,33	0,13	0,13	0,58	1
Concepto 2	0,17	0,13	0,13	0,42	2

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con cámara web para el procesamiento de imágenes.

Es un dispositivo que permite la capturar imágenes en tiempo real para su posterior procesamiento de imágenes o simplemente proyectar lo que el lente de la cámara este enfocando.



FIGURA 73. CÁMARA WEB
Fuente: [93]

TABLA 72
ESPECIFICACIONES DE CÁMARA WEB

Videoconferencias	HD (1280 x 720 píxeles)
Captura de vídeo	Hasta 1280 x 720 píxeles
Fotos	Hasta 3.0 megapíxeles
Micrófono	Integrado con reducción de ruido
USB	Certificación USB 2.0 de alta velocidad
Sujeción	Clip universal para monitores LCD, CRT o portátiles

Fuente: [93]

En la Tabla 72 se visualiza las características de la cámara web que se va a ocupar para la implementación de la visión en el robot social.

3.3.2.8. Módulo suministro de energía

En esta sección se hace referencia a los diferentes componentes para la entrega de energía eléctrica.

Las opciones para la capacidad energética de este proyecto son: a) Batería, b) Elevador de voltaje y c) Celda solar.

a) Batería

La batería es uno de los elementos de suministro de energía utilizado en la robótica autónoma.

Ventajas

- Capacidad de carga y descarga, especificada en cada tipo de batería.
- Tamaño reducido.
- Fácil adquisición.

Desventajas

- Tiempo de carga considerable.

- Necesidad de un cargador especial dependiendo del tipo de batería.

b) Elevador de voltaje

Consta de un circuito que eleva la tensión de entrada en una tensión elevada controlada.

Ventajas

- Fácil adquisición.
- Alta eficiencia.

Desventajas

- Alto costo de adquisición.
- Requiere de una entrada de tensión DC

c) Panel solar.

Los paneles solares son las más utilizadas en aplicaciones de robótica móvil para lugares externos. Se basa en la captación de energía luminosa y transformarla en energía eléctrica.

Ventajas

- Innovación en las aplicaciones robóticas.
- Energía renovable.

Desventajas

- Alto costo de implementación.
- Demanda de más espacio.
- Eficiente si el robot está en un ambiente externo y con altos niveles luminosos.

Criterios de evaluación para la selección del tipo de fuente de energía.

Se establece los criterios a valorar en esta etapa, tomando en cuenta las necesidades del usuario y del desarrollador del proyecto. Los criterios son:

- Costo

- Tamaño
- Implementación

Peso específico de cada criterio de evaluación en la selección del tipo de fuente de energía.

TABLA 73
PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA

	Costo	Tamaño	Implementación	$\Sigma + 1$	%
Costo	-	1	1	3,00	0,50
Tamaño	0	-	0	1,00	0,17
Implementación	0	1	-	2,00	0,33
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Las opciones que se consideraron para esta etapa son:

- Concepto 1: Batería
- Concepto 2: Elevador de voltaje
- Concepto 3: Panel Solar

Peso específico de las alternativas para cada criterio de evaluación en la selección del tipo de fuente de energía.

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

TABLA 74
PONDERACIÓN DE COSTO PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA

Costo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0	1	2,00	0,33
Concepto 2	1	-	1	3,00	0,50
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
	Σ			6,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de tamaño.

TABLA 75
PONDERACIÓN DE TAMAÑO PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA

Tamaño	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	1	1	3,00	0,50
Concepto 2	0	-	1	2,00	0,33
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

Evaluación del peso específico del criterio de implementación.

TABLA 76
PONDERACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN PARA CAPACIDAD ENERGÉTICA

Implementación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma + 1$	%
Concepto 1	-	0,5	1	2,50	0,42
Concepto 2	0,5	-	1	2,50	0,42
Concepto 3	0	0	-	1,00	0,17
Σ				6,00	1

Fuente: Autor

Selección de la alternativa del tipo de fuente de energía.

TABLA 77
CONCLUSIÓN EN LA SELECCIÓN DE CAPACIDAD ENERGÉTICA

	Costo	Tamaño	Implementación	Σ	Orden de selección
Concepto 1	0,17	0,08	0,14	0,39	2
Concepto 2	0,25	0,08	0,14	0,47	1
Concepto 3	0,08	0,03	0,06	0,17	3

Fuente: Autor

La alternativa de diseño seleccionado plantea un concepto con elevador de voltaje. Los elevadores de voltaje incrementan el suministro de energía eléctrica de su entrada a su salida regulada. Estos convertidores tienen variadas aplicaciones tales como: fuentes de poder en computadoras, sistemas de potencia en vehículos eléctricos, etc. El elevador seleccionado para la implementación en el robot es un módulo elevador de voltaje XL6009E1 4.5-32V, ver Figura 74.



FIGURA 74. MÓDULO ELEVADOR DE VOLTAJE

Fuente: Autor

Las características de este elevador de voltaje se despliegan en la Tabla 78 .

TABLA 78
CARACTERÍSTICAS DE MÓDULO ELEVADOR DE VOLTAJE

CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje de entrada	4,3 VDC ~ 32 VDC
Voltaje de salida	5VDC ~ 52VDC
Corriente entrada	4 A(máx.)
Eficiencia	94%
Rizado de salida	<50mV
Voltaje de regulación	± 0,5%
Temperatura de funcionamiento	-40 ~ 85 °C
Dimensiones	6,98cm × 3,8cm × 1,1cm

Fuente: Autor

3.3.3. *Concepto de diseño*

El robot está diseñado para la tele-operación periférica por parte del especialista y la interacción con el robot por parte del paciente. Se realiza el diseño en una estructura modular que posibilita el cambio de los elementos que se requieran.

El sistema en si del robot está constituido por una estructura interna y externa. La estructura interna engloba los elementos mecánicos que proporciona la sujeción de todos los elementos y dispositivos, ver Figura 76. La estructura externa comprende el armazón resistente a altos impactos y la apariencia caricaturesca. En la Figura 75 se puede observar el concepto de diseño de apariencia final del robot interactivo.

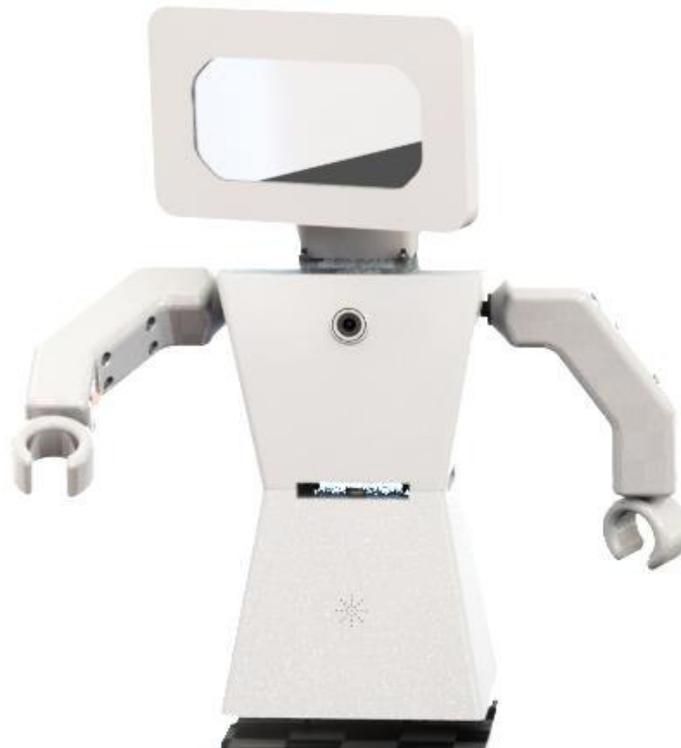


FIGURA 75. CONCEPTO FINAL ROBOT INTERACTIVO

Fuente: Autor

El control del robot está proporcionado por el *Processing*, con una tele-operación mediante una interfaz gráfica y un dispositivo periférico. La tele-operación consta de control de movimientos de los brazos y la cabeza, controlar la activación del seguimiento de rostro, transmisión de voz y controlar la aplicación de tratamiento del robot.

El módulo de movimientos se establece que se realice un robot con 4GL y se dispone un mecanismo poliarticulado de configuración por brackets.

El módulo de control está basado en el *Processing*, para el control de todos los módulos del robot interactivo.

El módulo electrónico y eléctrico está basado en la plataforma Arduino y la selección de los servomotores MG-995 para el sistema.

El módulo de tele-operación se basa en el desarrollo del joystick, el diseño de la interfaz se realiza en la misma plataforma del *Processing* y la transmisión de voz mediante un amplificador de audio.

El diseño de aplicación tratamiento se basa en el software de App Inventor y una configuración con colores pasteles y sonidos a bajo volumen.

El módulo de visión artificial se ejecuta mediante la librería *OpenCV* y *Processing*.

El módulo de suministro de energía consta de un cargador con un sistema de elevador de voltaje.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

El proceso de construcción de un proyecto es muy importante, se debe ser meticuloso a la hora de elaborar los diseños para luego no tener inconvenientes en el proceso de la elaboración. En el presente capítulo se detalla el proceso de construcción de los elementos mecánicos, implementación de componentes electrónicos y los resultados de las pruebas de funcionamiento.

4.1. CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT INTERACTIVO

La construcción del robot interactivo sigue un orden que comienza en la fabricación de todos los elementos mecánicos diseñados en el software CAD. Seguido por la integración de dichos elementos para la estructura interna y externa; con la disposición de todos los elementos de los módulos descritos en el capítulo anterior. Para finalizar con la conexión de todos los módulos.

4.1.1. Construcción de la estructura externa e interna

Como se indica en la sección 3.3.2.1.2 el material seleccionado para la estructura externa es un recipiente por moldeo a inyección de plástico polietileno. Para la construcción de la geometría del cuerpo diseñada, se requiere de dos piezas. Se necesita perforar las piezas para los acoples de los brazos y la visión.

Una vez concebida las partes que forman la estructura externa, se realiza la estructura interna. Para la construcción se requiere: varillas roscada de acero inoxidable de $\varnothing = 4mm$, placas de acrílico $e = 4mm$, arandelas y tuercas.

La estructura interna al ser una estructura modular requiere una construcción conjunta con los componentes de sujeción y los elementos electrónicos y eléctricos, ver en anexos el diagrama de conexión eléctrico. Una vez que se tienen todos los

elementos a ensamblar listos, en primer lugar, se ensambla la parte superior del cuerpo del robot. Consta de la placa Placa2 que soporta la tarjeta de control de los servomotores, ver Figura 77.

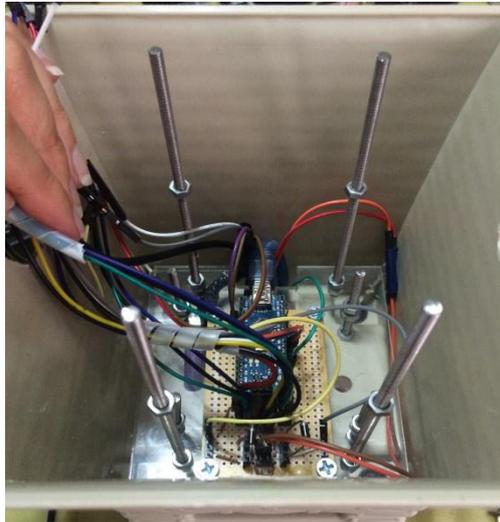


FIGURA 77. ENSAMBLE DE PLACA2

Fuente: Autor

Luego de asegurar la placa 2 a la estructura, se ensambla la placa placabase que soporta los servomotores que dan movimiento a los brazos y la sujeción de la cámara para la visión artificial, ver Figura 78.



FIGURA 78. ENSAMBLE DE PLACABASE

Fuente: Autor

A continuación se ensambla el mecanismo de movimiento, se colocan los portaservos y los servomotores en la disposición de movimiento de 2 grados de libertad, ver Figura 79 .

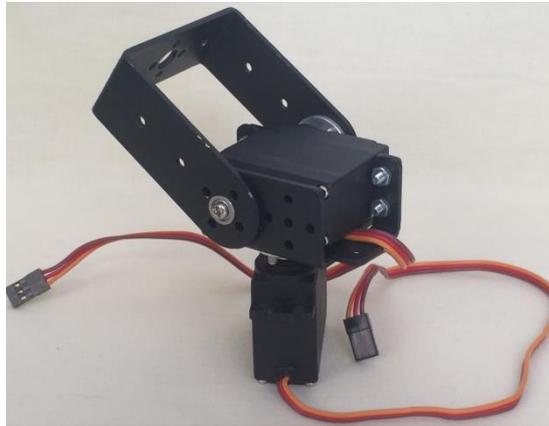


FIGURA 79. ENSAMBLE DE MECANISMO CABEZA
Fuente: Autor

Una vez ensamblado el mecanismo, se ensambla a las placas baseservo y tapa cuerpoB como se observa en la Figura 80.

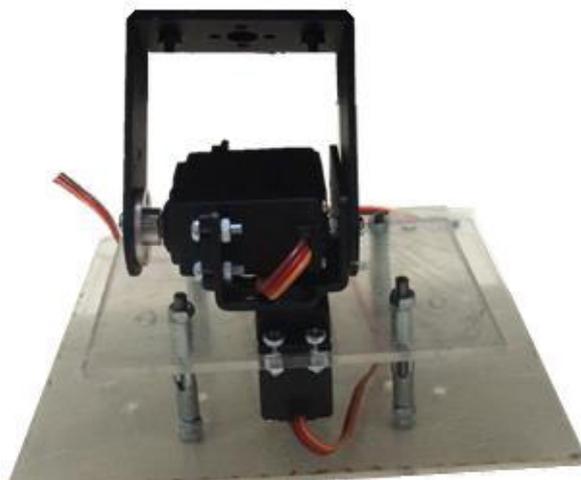


FIGURA 80. ENSAMBLE DE PLACAS BASESERVO Y TAPA CUERPOB
Fuente: Autor

Se procede a unir el ensamblaje del cuerpo con el ensamblaje de placas baseservo y tapa cuerpoB, obteniendo la estructura externa e interna del robot como se puede observar en la Figura 81.



FIGURA 81. ESTRUCTURA EXTERNA E INTERNA DEL ROBOT INTERACTIVO
Fuente: Autor

4.1.2. Implementación de cabeza y extremidades

El robot interactivo está compuesto por la cabeza y dos extremidades superiores. La cabeza se forma por la pantalla de interacción y la sujeción de la misma, ver Figura 82.



FIGURA 82. SUJECIÓN PANTALLA
Fuente: Autor

La construcción de las extremidades se realiza en impresión 3D en plástico ABS, las piezas impresas son el brazo izquierdo, brazo derecho y las manos, ver Figura 83.

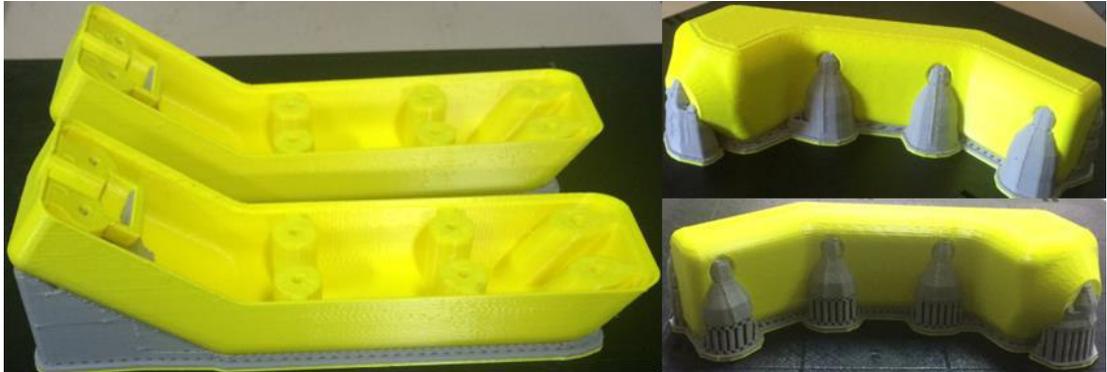


FIGURA 83. IMPRESIÓN 3D BRAZOS

Fuente: Autor

A continuación se separa el material de soporte, ver Figura 84



FIGURA 84. PIEZAS SIN MATERIAL DE SOPORTE

Fuente: Autor

Se procede a ensamblar las piezas, la configuración para el ensamble se puede observar en la Figura 85

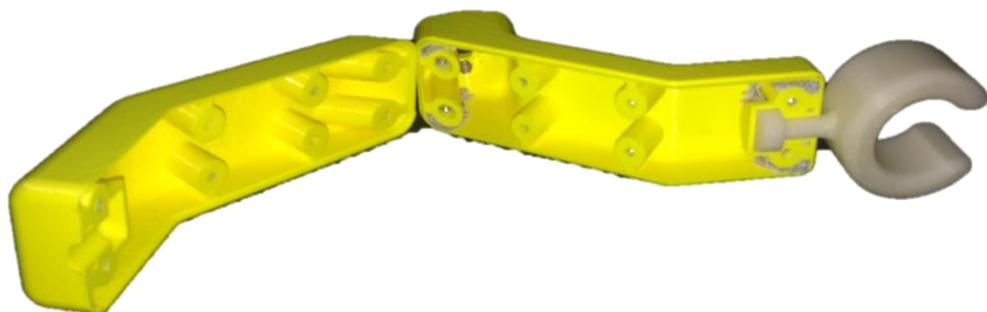


FIGURA 85. CONFIGURACIÓN DE PIEZAS PARA ENSAMBLE

Fuente: Autor

El ensamble de los brazos y el ensamble a la estructura final se pueden apreciar en la Figura 86 y Figura 87.



FIGURA 86. ENSAMBLE BRAZOS DERECHO E IZQUIERDO
Fuente: Autor



FIGURA 87. ENSAMBLE ESTRUCTURA FINAL
Fuente: Autor

4.1.3. Apariencia

La apariencia como se detalló en la sección 3.3.2.6.1 es un diseño propio con apariencia tierna. Para la apariencia se ha escogido el color blanco. Para el recubrimiento de la estructura del cuerpo se escogió foamy blanco con grabado. Se procede a realizar una plantilla con la geometría del cuerpo para realizar las piezas necesarias para el recubrimiento, ver Figura 88 .



FIGURA 88. RECUBRIMIENTO CUERPO ROBOT INTERACTIVO
Fuente: Autor

Como segundo paso se procede a pintar del mismo color blanco a los brazos del robot, ver Figura 89.



FIGURA 89. APARIENCIA BRAZOS
Fuente: Autor

La apariencia de la cabeza se realizó las piezas de recubrimiento en impresión 3D con material ABS, las piezas se pueden observar en las figuras Figura 90 y Figura 91



FIGURA 90. PIEZAS PARA ENSAMBLE DE CUELLO

Fuente: Autor



FIGURA 91. PIEZAS PARA ENSAMBLE PANTALLA

Fuente: Autor

La apariencia del producto final se aprecia en la Figura 92 a continuación

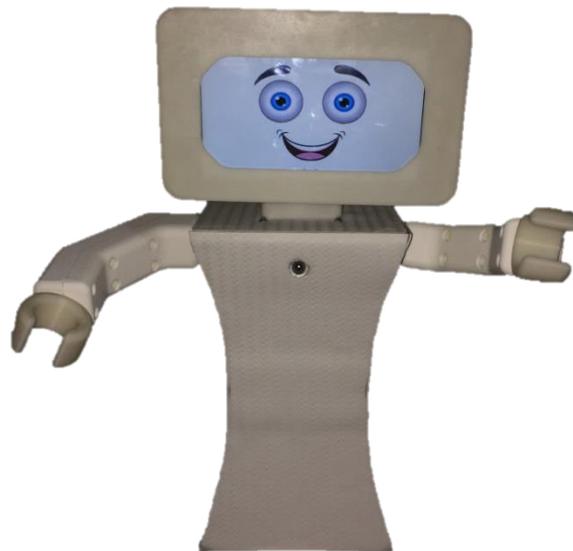


FIGURA 92. APARIENCIA FINAL ROBOT INTERACTIVO

Fuente: Autor

4.2. PRUEBAS

4.2.1. Dimensionales

Se realiza las pruebas de evaluación de geometría y dimensiones, ver Tabla 79.

TABLA 79
PRUEBAS DIMENSIONES

ELEMENTO	EVALUACIÓN	ESTADO
Varilla roscada 01	Longitud	✓
Varilla roscada 02	Longitud	✓
Varilla roscada 03	Longitud	✓
Varilla roscada 04	Longitud	✓
Baseservo	Geometría	✓
Tapa CuevoB	Geometría	✓
Placa base	Geometría	✓
Placa2	Geometría	✓
Tapa Cuerpobase	Geometría	✓
ManoA	Geometría	✓
	Rotación	✓
BrazoIzq	Geometría	✓
Mascara	Geometría	✓
Mascara1	Geometría	✓
Acople mascara	Geometría	✓
Cuello1	Geometría	✓
Cuello2	Geometría	✓

Fuente: Autor

4.2.2. Funcionamiento

4.2.2.1. Movimiento

Al finalizar con el ensamble del robot interactivo se realizó la etapa de pruebas de los movimientos. En la Tabla 80 se observan los datos obtenidos.

TABLA 80
PRUEBA DE MOVIMIENTO

MOVIMIENTOS	ÁNGULO (°)	EVALUACIÓN	ESTADO
Giro con respecto a Y	30	✘	Calibrar
	65	✓	
	90	✓	
	115	✓	
	150	✘	Calibrar
Movimiento en Y	50	✘	Calibrar
	75	✓	
	90	✘	Calibrar
	135	✘	Calibrar
	180	✘	Calibrar
Brazo Derecho	0	✘	Calibrar
	45	✓	
	90	✓	
	135	✓	
	180	✘	Calibrar
	220	✘	Calibrar
Brazo Izquierdo	0	✘	Calibrar
	45	✓	
	90	✓	
	135	✓	
	180	✘	Calibrar
	220	✘	Calibrar

Fuente: Autor

Realizadas las correcciones de calibración en el código del sistema, se ejecuta la prueba de verificación, ver Tabla 81.

TABLA 81
PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE MOVIMIENTO

MOVIMIENTOS	ÁNGULO (°)	EVALUACIÓN	ESTADO
Giro con respecto a Y	40	✓	
	65	✓	
	90	✓	
	115	✓	
	140	✓	
Movimiento en Y	56	✓	
	75	✓	
	90	✓	
	105	✓	
	115	✓	
Brazo Derecho	0	✓	
	45	✓	
	90	✓	
	135	✓	
	180	✓	
	200	✓	
Brazo Izquierdo	0	✓	
	45	✓	
	90	✓	
	135	✓	
	180	✓	
	200	✓	

Fuente: Autor

4.2.2.2. *Visión artificial*

Se realizó las pruebas de visión artificial en el robot interactivo. Se utiliza la interfaz del especialista para validar la detección y seguimiento de rostro. El seguimiento de rostro se realiza mediante los movimientos de la cabeza del robot interactivo.

Los movimientos de la cabeza del robot son continuos y complacen con los requerimientos de interacción con la detección y seguimiento de rostros.

4.2.2.3. *Aplicación*

Se realiza las pruebas de las expresiones mediante la teleoperación. Se verifica los movimientos de los brazos con la cabeza para cada emoción.



FIGURA 93. EXPRESIÓN FELIZ
Fuente: Autor



FIGURA 94. EXPRESIÓN TRISTE
Fuente: Autor



FIGURA 95. EXPRESIÓN ENOJADO
Fuente: Autor



FIGURA 96. EXPRESIÓN SORPRENDIDO
Fuente: Autor

4.2.2.4. Comunicación tele-operación

La tele-operación es fundamental para las funciones del robot interactivo. Se realiza las pruebas de comunicación entre la interfaz de especialista hasta las funciones del robot interactivo, ver Tabla 82.

TABLA 82
PRUEBA DE COMUNICACIÓN

TELE-OPERACIÓN	RESPUESTA	EVALUACIÓN
Movimientos a través del joystick	Inmediata	✓
Visión artificial	Inmediata	✓
Control de aplicación	Inmediata	✓
Trasmisión de voz	Inmediata	✓

Fuente: Autor

4.2.3. Interacción Especialista

Se aplica una encuesta a 5 especialistas de TEA de diferentes establecimientos. Se realiza una prueba de tele-operación a cada especialista para que puedan completar la encuesta, en la Figura 97 se puede observar a un especialista tele-operando al robot interactivo.

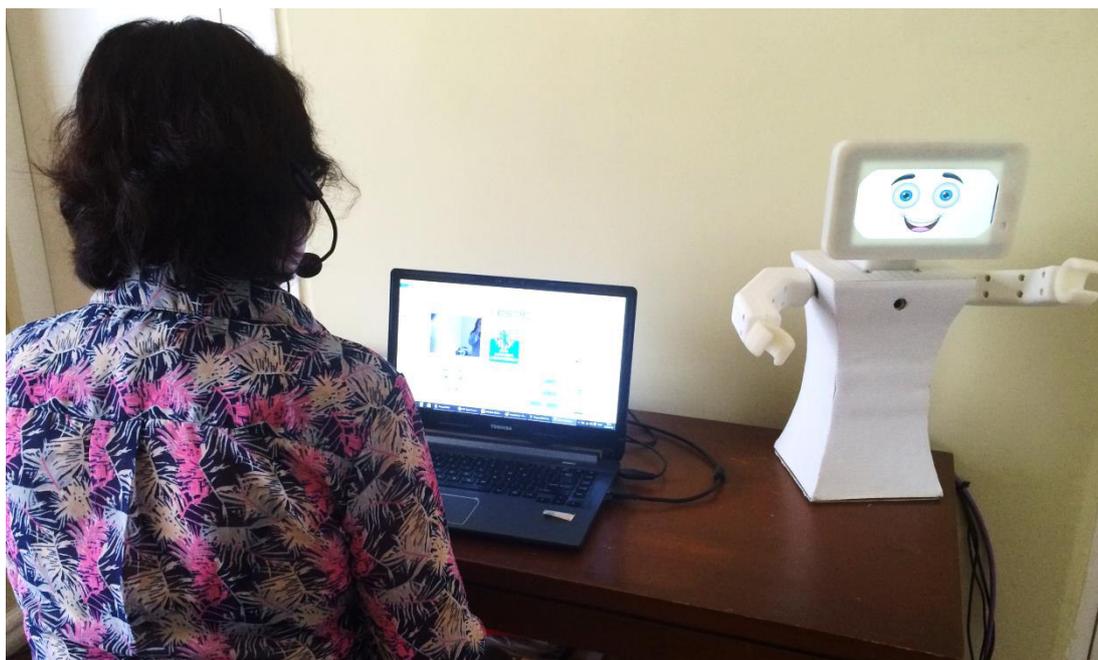


FIGURA 97. TELE-OPERACIÓN DE ESPECIALISTA

Fuente: Autor

Seguido se realiza la encuesta para evaluar la apariencia, movimientos de cabeza y brazos, transmisión de voz, sonido del paciente y la tele-operación. En la Tabla 83 se indican los resultados obtenidos de las encuestas.

TABLA 83

RESULTADOS DE LA ENCUESTA INTERFAZ ESPECIALISTA

ENCUESTA INTERFAZ ESPECIALISTA			
Encuestados: 5 Psicólogos especialistas en el TEA			
Género: Femenino	<input type="text" value="3"/>	Masculino	<input type="text" value="2"/>
1. En su opinión, cree que la apariencia del robot es apta para el tratamiento del TEA:			
SI	<input type="text" value="5"/>	NO	<input type="text" value="0"/>
2. Los movimientos de la cabeza del robot son:			
RAPIDOS	<input type="text" value="1"/>	NORMALES	<input type="text" value="4"/>
		LENTOS	<input type="text" value="0"/>
3. Los movimientos de los brazos del robot son:			
RAPIDOS	<input type="text" value="0"/>	NORMALES	<input type="text" value="2"/>
		LENTOS	<input type="text" value="3"/>

Continua

4. Calificaría la transmisión de voz como:					
MUY BUENA	5	BUENA	0	MALA	0
5. Calificaría el sonido del paciente como:					
MUY BUENA	0	BUENA	4	MALA	1
6. Calificaría la tele-operación como:					
MUY BUENA	4	BUENA	1	MALA	0

Fuente: Autor

A continuación se realiza la tabulación de los datos obtenidos. En la Figura 98 muestran los resultados de la pregunta 1, por sus resultados podemos concluir que el robot tiene una apariencia apta para el tratamiento de pacientes con TEA.

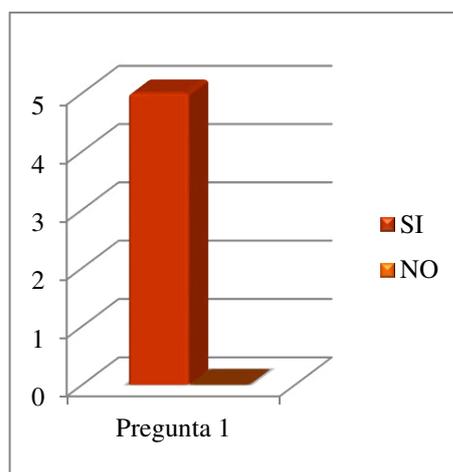


FIGURA 98. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 1

Fuente: Autor

En la Figura 99 se muestran los resultados de las preguntas 2 y 3, relacionadas con el movimiento del robot. Si el especialista ve que los movimientos de cada parte están muy rápidos, normales o lentos. Los resultados de la pregunta 2 indican que los movimientos de la cabeza del robot se están ejecutando de manera correcta. Los resultados de la pregunta 3 indican que los movimientos de los brazos están moviéndose lentamente, lo que indica que es seguro para el paciente.

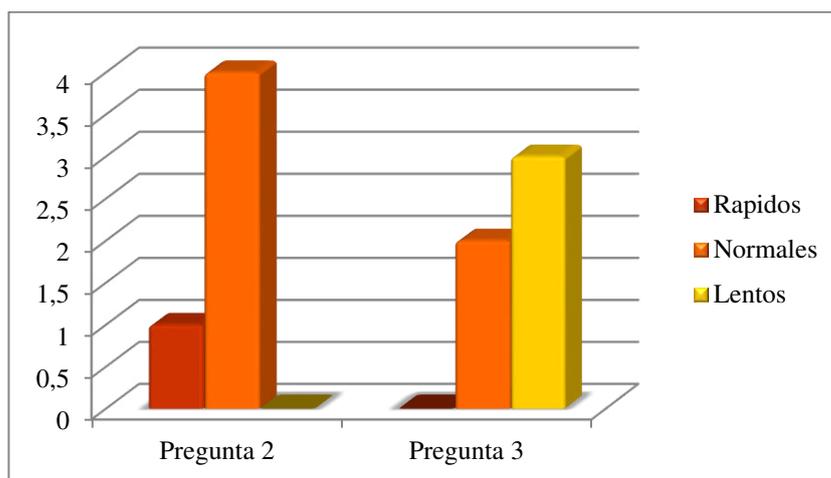


FIGURA 99. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 2 Y 3

Fuente: Autor

En la Figura 100 se muestran los resultados de las preguntas 4, 5 y 6, relacionadas con la transmisión de voz, el sonido del paciente y la tele-operación. La transmisión de voz coinciden los 5 especialistas que es muy bueno. Mientras que al sonido del paciente 4 de los 5 especialistas indicaron que es bueno. Y para la tele-operación 4 de los 5 especialistas indicaron que es muy bueno el control a distancia del robot.

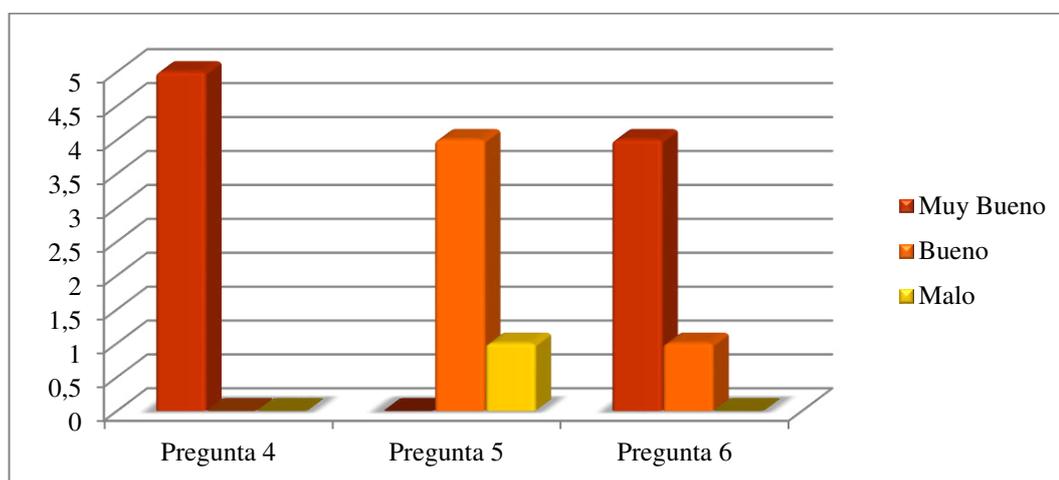


FIGURA 100. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 4, 5 Y 6

Fuente: Autor

4.2.4. Interacción Paciente

Se realiza una prueba de funcionamiento con 10 pacientes con TEA con edades de 6 hasta 10 años. Se aplica una encuesta al especialista encargado de la teleoperación para la evaluación de la interacción con el paciente, en la Figura 101 se puede observar a un paciente interactuando con el robot.



FIGURA 101. INTERACCIÓN PACIENTE

Fuente: Autor

Seguido se realiza la encuesta para la interacción, seguimiento de rostro, conversación, calificar las expresiones y evaluar si implementarían al robot para el tratamiento de sus pacientes. En la Tabla 84 se indican los resultados obtenidos de las encuestas.

TABLA 84

RESULTADOS DE LA ENCUESTA INTERACCIÓN PACIENTE

ENCUESTA INTERFAZ ESPECIALISTA	
Encuestados: 5 Psicólogos especialistas en el TEA	
Área del TEA: Autismo leve	6
Asperger	4
Género: Femenino	5
Masculino	5
1. En su opinión, cree que la interacción fue inmediata:	

Continua

SI	<input type="text" value="7"/>	NO	<input type="text" value="3"/>		
2. Durante la interacción, el seguimiento de rostro logra atraer la atención del paciente:					
SI	<input type="text" value="8"/>	NO	<input type="text" value="2"/>		
3. Durante la interacción, logro tener una conversación con el paciente:					
SI	<input type="text" value="9"/>	NO	<input type="text" value="1"/>		
4. En la interacción, calificaría la expresión de feliz como:					
MUY BUENA	<input type="text" value="8"/>	BUENA	<input type="text" value="2"/>	MALA	<input type="text" value="0"/>
5. En la interacción, calificaría la expresión de triste como:					
MUY BUENA	<input type="text" value="9"/>	BUENA	<input type="text" value="1"/>	MALA	<input type="text" value="0"/>
6. En la interacción, calificaría la expresión de sorprendido como:					
MUY BUENA	<input type="text" value="7"/>	BUENA	<input type="text" value="2"/>	MALA	<input type="text" value="1"/>
7. En la interacción, calificaría la expresión de enojado como:					
MUY BUENA	<input type="text" value="6"/>	BUENA	<input type="text" value="2"/>	MALA	<input type="text" value="2"/>
8. Implementaría al robot interactivo como tratamiento al paciente					
SI	<input type="text" value="10"/>	NO	<input type="text" value="0"/>		

Fuente: Autor

A continuación se tabulan de los datos obtenidos. En la Figura 102 muestran los resultados de las preguntas 1, 2 y 3. Por los resultados de la pregunta 1 podemos concluir que la apariencia del robot ayuda para una interacción inmediata. En los datos de la pregunta 2 podemos concluir que la visión artificial para el seguimiento de rostro está bien realizado ya que si logra atraer la atención de los pacientes. El desarrollo de una conversación en el tratamiento es fundamental por lo que con los datos obtenidos en la pregunta 3 se determina que la transmisión de voz tanto del paciente como del especialista es inmediata.

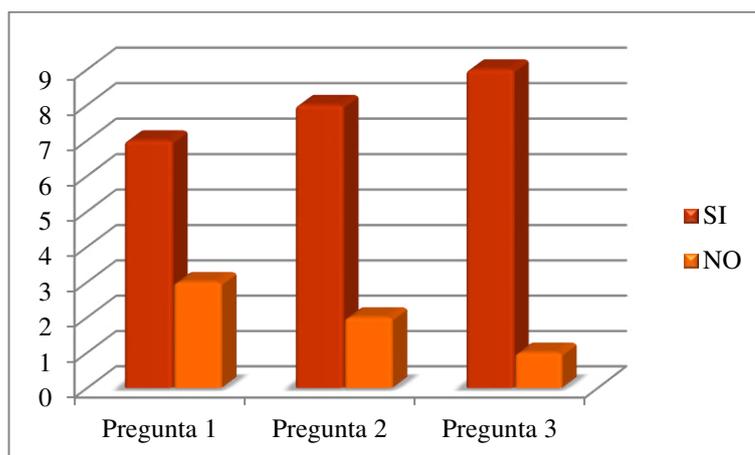


FIGURA 102. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 1, 2 Y 3

Fuente: Autor

En la Figura 103 se muestran los resultados de las preguntas 4, 5, 6 y 7, relacionadas con las expresiones del robot. El especialista va a identificar la interacción que tienen sus pacientes con cada expresión: feliz, triste, sorprendido y enojado. Los resultados de la pregunta 4, 5 y 6 indican que expresión de feliz, triste y sorprendido están interactuando de manera correcta. Los resultados de la pregunta 7 indican que la expresión de enojado no interactúa de manera correcta con el 40% de sus pacientes.

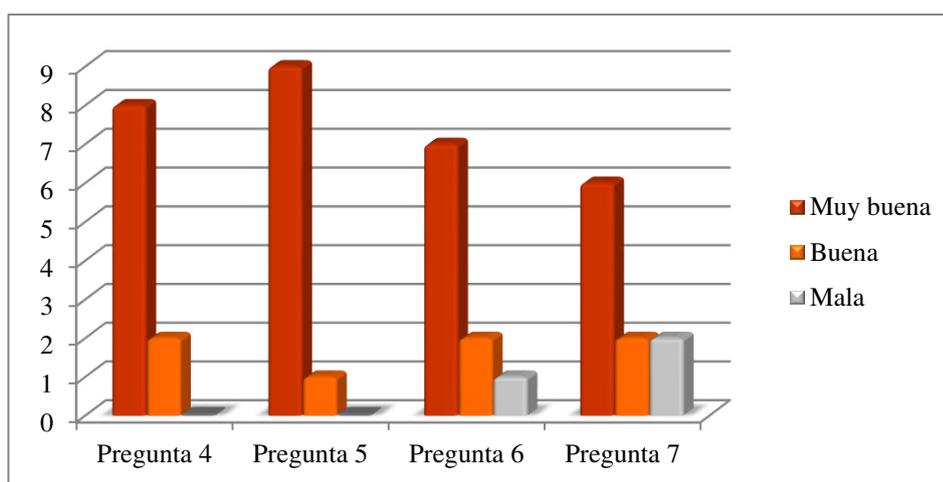


FIGURA 103. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 4, 5, 6 Y 7

Fuente: Autor

Los resultados de la pregunta 8, ver Figura 104, indican que el especialista si incluiría al robot interactivo para los tratamientos de personas con autismo leve y asperger.

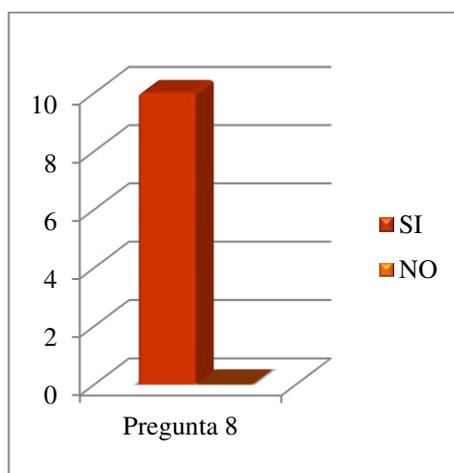


FIGURA 104. DIAGRAMA DE BARRAS PREGUNTA 8

Fuente: Autor

4.3. RESUMEN

Al realizar el desarrollo de este capítulo se describe el proceso de construcción del robot interactivo. Se ejecuta por etapas, primero se construye la geometría del cuerpo que será la estructura externa del robot. Segundo se realiza la construcción de la estructura interna, detallando los elementos que forman parte del ensamble. El ensamble de la estructura interna se realiza junto a la instalación de los elementos electrónicos y eléctricos. Luego, se desarrolla el ensamble del mecanismo de la cabeza con el sub-ensamble de las placas. Con la estructura final, se procede a dar la apariencia agradable al robot interactivo.

Continuando con el desarrollo de este capítulo se describe las pruebas ejecutadas en base a las dimensiones, movimientos, visión artificial, aplicación y comunicación de tele-operación. Verificadas todas las funciones del robot, se realiza la etapa de pruebas con las personas implicadas en el campo de aplicación: especialistas y pacientes. Tabulando los datos obtenidos, se concluye que el robot interactivo es apto para la implementación en los tratamientos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se exponen las conclusiones que se han obtenido a partir del proyecto realizado. También, se abordan las recomendaciones y trabajos futuros que se plantean a partir de las interrogantes generadas en la producción de este proyecto.

5.1. CONCLUSIONES

- El diseño y construcción del robot interactivo para el tratamiento de personas con espectro autista se elaboró con cuatro grados de libertad. El desarrollo de la etapa de investigación del área de aplicación ha servido para implementar al concepto del robot en dos grados de libertad más de lo estipulado. El robot interactivo es capaz de ser tele-operado y es capaz de detectar y seguir el rostro del paciente. Adicionalmente, el robot posee un sistema de transmisión de voz del especialista.
- Como resultado del proceso de construcción y el de pruebas se obtuvo un robot interactivo de 4 grados de libertad cuyas dimensiones son 55,3 cm × 62,8 cm × 16 cm. El peso total del robot es de 5 kg. El ángulo máximo de giro de los brazos es de 220°, el rango de giro de la cabeza con respecto al eje Y es de 40° a 140° y el rango de giro de la cabeza en el eje X es de 56° a 156°
- Se desarrolló la interfaz humano-máquina con el uso de tecnología abierta del software y hardware que permite reducir costos en la elaboración de robots terapéuticos sin disminuir la calidad de los mismos. En este caso, se construyó el sistema de software a través del programa *Processing* que es

compatible con sistemas operativos como: Windows, Linux, Mac. Para la implementación del hardware se realizó con componentes de tecnología abierta que son compatibles con el lenguaje de programación de Processing.

- El diseño del robot mediante una arquitectura modular, crea una organización abierta donde se puede reemplazar cualquier elemento funcional sin ningún cambio en los demás elementos. Las necesidades de diseño del robot interactivo se satisface con 8 módulos: estructura, movimiento, control, electrónico y eléctrico, tele-operación, aplicación tratamiento, visión artificial y suministro de energía.
- El diseño HMI (interfaz humano-máquina) tiene un panel de tele-operación. La distribución de los elementos de la tele-operación cuenta con una pantalla de visualización del paciente, pantalla de visualización de aplicación, control de movimientos manuales a través de joystick y automático a través de la visión artificial gracias a la librería OpenCV. También, posee un control de visualización de la pantalla del robot. Por último, se controla la salida de audio del robot para la transmisión de voz del especialista.
- Se evaluó el funcionamiento del robot interactivo en cada etapa de desarrollo. Los datos obtenidos presentan que el mecanismo de movimiento de cabeza mediante la configuración de brackets con los servomotores es adecuado para la funcionalidad de movimientos (manual y automático). Otro punto en considerar es que las señales que provienen del controlador y los comandos realizados por la tele-operador no tienen tiempos de retardo en la comunicación. Por último, el robot interactivo finalizado es capaz de realizar las funciones planteadas.
- Con el fin de mejorar la interacción del robot-paciente se incorporó audio y video para escuchar y observar las reacciones del paciente en tiempo real. Además, hay la opción que el especialista comience una conversación con el

paciente para así evaluar el grado de atención que tiene el paciente en el robot.

- Como resultado de las pruebas realizadas a 10 pacientes con Autismo leve y Asperger, se obtuvo que se logró una interacción inmediata, el seguimiento de rostro, entablar una conversación a través del robot con sus pacientes en un porcentaje relativamente alto. Las expresiones realizadas con el robot tuvo una aceptación entre cada emoción feliz, triste. Con las emociones de enojado y sorprendido no se obtuvo tanta aceptación por lo que se debe realizar un cambio de imágenes para expresar de mejor manera estas emociones. Al finalizar con las pruebas el especialista si implementaría al robot interactivo a los tratamientos de sus 10 pacientes evaluados, se deduce que el robot interactivo es apto para el tratamiento del TEA.
- Para finalizar, el desarrollo del proyecto ha permitido generar conocimiento sobre robótica social terapéutica. Ha dado paso a conocer un nuevo campo de aplicación de los robots interactivos. Se ha recopilado información sobre las diferentes aportaciones en esta área a nivel global. De esta forma, la investigación de esta área ha servida para implementar algunas ideas en el proyecto desarrollado.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda generar un diseño de las expresiones más reales con la ayuda de programas de diseño gráfico caricaturescos para el incremento del impacto visual con los pacientes y mejorar el rendimiento de los tratamientos.
- En futuros trabajos se puede realizar un diseño con incorporación de grados de libertad a las extremidades, que permitirá una interacción con el paciente a través de selección de objetos. Esta implementación aumentaría la apariencia

natural del robot creando un vínculo de interacción más alto y abarcaría el tratamiento del campo motriz de los pacientes.

- Otra iniciativa que llama la atención es la incorporación de una plataforma móvil que permita mejorar la interacción paciente-robot ampliando el campo de trabajo.
- Se recomienda que se generen más aplicaciones en la pantalla del robot que mejore el rendimiento y abarque otros campos del tratamiento. Con la implementación de pictogramas y la modulación de voz del especialista se puede abordar los temas del tratamiento sobre el rol de las diferentes actividades diarias.
- Como trabajos futuros se puede cambiar la configuración de tele-operado a autónomo con la implementación de inteligencia artificial. Creando una línea de investigación para diversos proyectos con la implementación del sistema operativo robótico (ROS).
- Se recomienda generar más proyectos relacionados con la robótica social enfocados al tratamiento de otro tipo de enfermedades como Síndrome de Down, déficit de atención, etc.

Bibliografía

- [1] Ecuavisa, «ECUAVISA,» Ecuavisa, 02 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/57224-se-estima-que-unos-180-mil-ninos-padecen-autismo-ecuador>. [Último acceso: 10 10 2015].
- [2] I. S. Y. A. Mg. Cruz Ardilla Juan Carlos, «Aplicación robótica para realizar terapias en niños con autismo,» LACCEI, Guayaquil, 2014.
- [3] Corporación de Robots y Automatización SIASUN, «ASIA INFONEWS,» 04 09 2014. [En línea]. Available: http://static1.squarespace.com/static/52bc9091e4b0aee2c11ccf01/52edeac4e4b0042901193096/52edeac1e4b00b866feba848/1391324045624/Industrial_robots.JPG. [Último acceso: 18 11 2015].
- [4] BBC Mundo, «BBC Mundo,» 27 02 2008. [En línea]. Available: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_7266000/7266423.stm. [Último acceso: 18 11 2015].
- [5] J. Castromil, «Clipset,» 28 10 2008. [En línea]. Available: <http://clipset.20minutos.es/toyota-home-assistant-robot-el-chacho-robot-domestico/>. [Último acceso: 18 11 2015].
- [6] JPL-NASA, «Jet Propulsion Laboratory,» [En línea]. Available: <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/hiResImages/Rocky71c-hi.jpg>. [Último acceso: 18 11 2015].
- [7] J. A. R. B. C. A. H., et al, «Universidad de Barcelona,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geneticaclass/brucormand/pdfs/33.pdf>. [Último acceso: 18 Junio 2015].
- [8] Guía para la practica educativa con niños con autismo y T. G. D..
- [9] Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades , «Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades,» 2014 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/autism/facts.html>. [Último acceso: 18 Junio 2015].
- [10] «Las mil caras del autismo,» 13 04 2011. [En línea]. Available: <http://lasmilcarasdelautismo.blogspot.com/2011/04/el-lazo-del-autismo.html>. [Último acceso: 10 11 2015].
- [11] «Recursos para la etapa de la Educación inicial,» 14 07 2014. [En línea]. Available:

- <http://misrecursosparalaeducacioninfantil.blogspot.com/2014/07/que-es-el-autismo-y-criterios-para-su.html>. [Último acceso: 10 11 2015].
- [12] J.-J. Cabibihan, «YOROKOBU,» David Garcia, 18 11 2013. [En línea]. Available: <http://www.yorokobu.es/robots-sociales-que-ayudan-a-ninos-autistas/>. [Último acceso: 12 Agosto 2015].
- [13] Delana, «Weburbanist,» [En línea]. Available: <http://weburbanist.com/2008/11/18/10-of-the-worlds-weirdest-craziest-and-most-useful-robots/>. [Último acceso: 11 11 2015].
- [14] MTBeurope, «MTBeurope,» 04 07 2011. [En línea]. Available: <http://www.mtbeurope.info/news/2011/1107010.htm>. [Último acceso: 11 11 2015].
- [15] D. K. a. W. L., de “*Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges*,” vol. 12, Pragmatics & Cognition, 2004, pp. 161-198.
- [16] K. D. a. J. D. B. Robins, «“Does appearance matter in the interaction of children with autism with a humanoid robot?”», vol. 7, Interaction Studies, 2006, pp. 479-512.
- [17] Robotnews, «Robot News,» 01 04 2006. [En línea]. Available: <https://robotnews.wordpress.com/2006/04/01/robot-doll-an-educational-toy/>. [Último acceso: 11 11 2015].
- [18] Universidad de Hertfordshire, «Universidad de Hertfordshire,» [En línea]. Available: <http://www.herts.ac.uk/kaspar/introducing-kaspar>. [Último acceso: 11 11 2015].
- [19] ARNGREN, «ARNGREN,» [En línea]. Available: <http://www.arngren.net/pleo.html>. [Último acceso: 12 11 2015].
- [20] «Miyagi University,» [En línea]. Available: <http://www.myu.ac.jp/~xkozima/carebots/photo-eng.html>. [Último acceso: 12 11 2015].
- [21] «Roboticspot,» [En línea]. Available: <http://www.roboticspot.com/robots.php?id=78>. [Último acceso: 12 11 2015].
- [22] B. Scassellati., Personal communication, 2008.
- [23] a. C. N. H. Kozima, de “*Interactive robots as facilitators of children’s social development*”, Vienna, Mobile Robots towards New Applications, Aleksandar Lazinica, Ed. , 2006, pp. 271-286.
- [24] G. Pioggia, de “*An android for enhancing social skills and emotion recognition in people with autism*”, IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering,

- 2005, pp. 507-15.
- [25] F. M. H. M. A. Duquette, «“Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism”,» *Auton Robot*, 2008, pp. 147-157.
- [26] P. De Silva, et al, «“Therapeutic-assisted robot for children with autism”,» *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 11-15, 2009.
- [27] F. Michaud, et al, «Assistive Technologies and Child-Robot Interaction,» 2007. [En línea]. Available: www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/2007/SS-07-07/SS07-07-011.pdf.
- [28] plasticpals, «plasticpals,» 10 06 2011. [En línea]. Available: www.plasticpals.com/?p=8467. [Último acceso: 13 11 2015].
- [29] «Tokugagua,» 17 07 2012. [En línea]. Available: <http://www.gizmos.es/robotica/el-robot-face-puede-mostrar-emociones-humanas-en-su-rostro.html>. [Último acceso: 13 11 2015].
- [30] «IntRobLab,» 2014. [En línea]. Available: <https://introlab.3it.usherbrooke.ca/mediawiki-introlab/index.php/CRI>. [Último acceso: 13 11 2015].
- [31] Tsukubajin, 03 11 2008. [En línea]. Available: <https://www.flickr.com/photos/tsukubajin/2997796427>. [Último acceso: 13 11 2015].
- [32] A. O. Baturone, «Robótica,» de *ROBOTICA: Manipuladores y robots móviles*, Barcelona, Marcombo S.A., 2001, pp. 1-3.
- [33] El Diario, «Robotica,» *El robot se convierte en el mejor amigo del hombre*, 20 Octubre 2011.
- [34] PCWORLD, «PCWORLD ECUADOR,» 18 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.pcworld.com.ec/mael-arturito-y-quichua-gamer-los-primeros-robots-en-llegar-al-cpquito3/>. [Último acceso: 06 Junio 2015].
- [35] DoctorTecno, «DoctorTecno,» 21 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.doctortecno.com/noticia/jovenes-talentos-sorprenden-e-inspiran-campus-party>. [Último acceso: 12 Junio 2015].
- [36] ANDES, «ANDES,» 18 09 2013. [En línea]. Available: <http://www.andes.info.ec/es/actualidad/iniciativas-sociales-presentaran-tercera-edicion-ecuatoriana-campus-party.html>. [Último acceso: 13 11 2015].

- [37] EL COMERCIO, «El comercio,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/201231006c7b3c69-fbdc-41ba-b434-03681f0e54d7>. [Último acceso: 06 Junio 2015].
- [38] D. Vallejo, «Daniel Vallejo,» 13 01 2015. [En línea]. Available: <https://plus.google.com/114189338883410608613>. [Último acceso: 13 11 2015].
- [39] R. C. C. David, «Repositorio Digital ESPE,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9340/1/AC-ESPEL-MEC-0039.pdf>. [Último acceso: 09 Junio 2015].
- [40] C. D. Ruales, «Carlos David Ruales,» 25 03 2015. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BwjaiHplsDY>. [Último acceso: 14 11 2015].
- [41] John-John Cabibihan, et al, «Yorokobu,» 02 11 2013. [En línea]. Available: [http://download.springer.com/static/pdf/121/art%253A10.1007%252Fs12369-013-0202-2.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs12369-013-0202-2&token2=exp=1441217384~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F121%2Fart%25253A10.1007%25252Fs12369-013-0202-](http://download.springer.com/static/pdf/121/art%253A10.1007%252Fs12369-013-0202-2.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs12369-013-0202-2&token2=exp=1441217384~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F121%2Fart%25253A10.1007%25252Fs12369-013-0202-2)
- [42] Psicodiagnosis.es, «Psicodiagnosis,» 05 08 2010. [En línea]. Available: <http://www.psicodiagnosis.es/areaclinica/trastornossocialesintelectuales/tgdtratamientoeintervencion/>. [Último acceso: 05 09 2015].
- [43] C. R. M. José, «Repositorio digital de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil,» 02 10 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/2987/1/T-UCSG-PRE-ART-IPDA-18.pdf>. [Último acceso: 23 08 2015].
- [44] CRE SATELITAL, «Ecuador no tiene estadísticas sobre autismo, incluido entre las discapacidades,» *Autismo*, 01 Abril 2013.
- [45] R. Cererols, «Historia,» de *Descubrir el Asperger*, España, pp. 19-26.
- [46] L. Wing, de *Síndrome de Asperger: un informe clínico*, Medicina Psicológica, 1981, pp. 115-129.
- [47] H. Asperger, de *Die Autistischen Psychopathen im Kindesalter*, 117(1) ed., European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 1944, pp. 76-136.
- [48] M. Montero, «El síndrome de Asperger y su clasificación,» *Revista Educación*, nº 2, 2009.

- [49] W. Volkmar, et al, «Field trial for autistic disorder in DSM-IV,» *American Journal of Psychiatry*, vol. 151, nº 9, pp. 1361-1367, 1994.
- [50] R. P. Seldas, «Espectro Autista,» [En línea]. Available: <http://espectroautista.info/criterios-diagn%C3%B3sticos/DSM-5>. [Último acceso: 5 10 2015].
- [51] R. P. Seldas, «EspectroAutista,» [En línea]. Available: <http://espectroautista.info/criterios-diagn%C3%B3sticos/DSM-5>. [Último acceso: 15 10 2015].
- [52] X. Allué, «Pediatria social,» 27 02 2012. [En línea]. Available: <https://pedsocial.wordpress.com/2012/02/27/autismo-y-sindromes-asociados/>. [Último acceso: 15 11 2015].
- [53] A. M. A. Stael, «Repositorio Digital,» 06 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1425/1/T-SENESCYT-00577.pdf>. [Último acceso: 06 10 2015].
- [54] DMHENAO, «Robotica,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/a/unitecnica.net/dmhenao/articulos>. [Último acceso: 15 10 2015].
- [55] «KUKA-ROBOTICS,» [En línea]. Available: http://www.kuka-robotics.com/es/products/industrial_robots/high/nano/kr160_r1570_nano/start.htm. [Último acceso: 18 10 2015].
- [56] Robotikka, «Actualidad Gadget,» 23 12 2011. [En línea]. Available: <http://www.actualidadgadget.com/robots-moviles-para-trabajar-en-ambientes-adversos/>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [57] TICBEAT, «TICBEAT,» 28 06 2014. [En línea]. Available: <http://www.ticbeat.com/cyborgcultura/dos-androides-para-presentar-noticias-en-japon/>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [58] W. Molina, «Tecnologia Walid M,» 19 09 2014. [En línea]. Available: <http://tecnologiawalidm.blogspot.com/2014/09/historia-de-la-robotica-la-historia-de.html>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [59] ADESCERBEROZ, «ADESCERBEROZ,» [En línea]. Available: <https://adescerberoz.wordpress.com/arquitectura-de-la-robotica/>. [Último acceso: 18 10 2015].

- [60] B. Duffy, «The Social Robot,» PhD Thesis, Univ. College Dublin, 2000.
- [61] A. B. K. Dautenhahn, «Bringing up robots or—the psychology of socially intelligent robots: From theory to implementation,» *Proceedings of the Autonomous Agents*, 1999.
- [62] Electronicsteacher, «Electronicsteacher,» [En línea]. Available: <http://www.electronicsteacher.com/robotics/current-research.php>. [Último acceso: 16 11 2015].
- [63] H. Gardner, *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*, New York: Basic Books, 1983.
- [64] I. N. K. D. T. Fong, «A survey of socially interactive robots: concepts, design, and applications,» de *Technical Report No. CMURI-TR-02-29*, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2002.
- [65] T. Sheridan, «Eight ultimate challenges of human–robot communication,» de *Proceedings of the International Workshop on Robots and Human*, 1997.
- [66] «JIBO,» [En línea]. Available: <http://www.jibo.com/>. [Último acceso: 15 11 2015].
- [67] C. Breazeal, «Personal Robots Group – MIT Media Lab,» 31 03 2003. [En línea]. Available: <http://robotic.media.mit.edu/wp-content/uploads/sites/14/2015/01/Breazeal-RAS-03.pdf>. [Último acceso: 17 11 2015].
- [68] D. Parisi, *Future robots, USA*: John Benjamins Publishing Company, 2014.
- [69] T. Shibata, «Innovación para la vida con robots terapéuticos,» 2010. [En línea]. Available: https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/static/pdf/25_SHIBATA_ESP.pdf. [Último acceso: 15 10 2015].
- [70] Beatbots, «MyKeepon,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.mykeepon.com/story>. [Último acceso: 19 11 2015].
- [71] «El Correo,» 25 04 2015. [En línea]. Available: <http://www.elcorreo.com/bizkaia/tecnologia/investigacion/201504/20/robot-terapeutico-ayudara-rehabilitacion-20150420134934-rc.html>. [Último acceso: 16 11 2015].
- [72] «Rionegro,» [En línea]. Available: <http://www.rionegro.com.ar/diario/los-robots-con-forma-de-peluche-pueden-ser-acompanantes-terapeuticos-4716757-9528-nota.aspx>. [Último acceso: 16 11 2015].
- [73] «NeoTeo,» [En línea]. Available: <http://www.neoteo.com/paro-la-foca-bebe-robotica-terapeutica>. [Último acceso: 16 11 2015].

- [74] «Roboticastreet,» 15 05 2010. [En línea]. Available: <http://www.roboticastreet.com/teddy-el-amoroso-oso-robotico-de-fujitsu/>. [Último acceso: 16 11 2015].
- [75] E. B. M. M. H. MOUTAOUAKKIL F., «Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science,» vol. Vol I, 2010.
- [76] A. OLLERO Baturone, *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Barcelona: Alfaomega-Marcombo, 2001.
- [77] K. O. SICILIANO Bruno, *Handbook of Robotics*, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [78] Open Source Initiative, «Open Source Initiative,» 22 03 2007. [En línea]. Available: <https://opensource.org/osd>. [Último acceso: 14 12 2015].
- [79] A. Gibb, de *Building Open Source Hardware*, Addison-Wesley, 2015.
- [80] R. Mérou, «GNUes,» 13 07 2009. [En línea]. Available: <http://es.gnu.org/~reneme/map/es/>. [Último acceso: 5 01 2016].
- [81] GNUes, 14 05 2008. [En línea]. Available: http://es.gnu.org/Software_Libre. [Último acceso: 5 01 2016].
- [82] B. Bellamy, «Techwatch,» 07 02 2013. [En línea]. Available: <http://techwatch.keeward.com/geeks-and-nerds/arduino-vs-raspberry-pi-vs-cubieboard-vs-gooseberry-vs-apc-rock-vs-olinuxino-vs-hackberry-a10/>. [Último acceso: 8 01 2016].
- [83] R. Gesa, «La tecnolog[ia un hobby para compartir,» 27 06 2012. [En línea]. Available: <http://reogesa.blogspot.com/2012/06/dropcam-hd-camara-de-seguridad.html>. [Último acceso: 20 12 2015].
- [84] A. K. Gary Bradski, *Learning Open CV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'Reilly Media Inc., 2008.
- [85] S. E. Karl Ulrich, *Procesos y organizaciones*, Mexico: Mc. Graw Hill, 2013.
- [86] K. Ulrich, «The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,» *Elsevier*, vol. 24, n° 3, pp. 441-440, 1995.
- [87] SINONIN ROBOT, «aliexpress,» 2013. [En línea]. Available: <http://es.aliexpress.com/item/Robot-Car-3-Chassis-Kits>. [Último acceso: 01 03 2016].
- [88] MIT Media Lab, «Personal Robots Group,» 2009. [En línea]. Available: <http://robotic.media.mit.edu/portfolio/huggable/>. [Último acceso: 01 02 2016].

- [89] Arduino, «Arduino,» 2015. [En línea]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/Software>.
- [90] PARO Robots U.S, «PARO Robots,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.parorobots.com/photogallery.asp>. [Último acceso: 19 02 2016].
- [91] C. B. Kenton Williams, «Personal Robots Group,» MIT Media Lab, 2013. [En línea]. Available: <http://robotic.media.mit.edu/portfolio/aida/>. [Último acceso: 18 02 2016].
- [92] Samsung, «Samsung,» [En línea]. Available: <http://www.samsung.com/mx/consumer/mobile-devices/tablets/galaxy-tab-e/SM-T113NDWUTCE>. [Último acceso: 15 03 2016].
- [93] «Mercado Libre,» [En línea]. Available: http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-408912267-camara-web-webcam-logitech-hd-c270-usb-microfono-3mpx-_JM. [Último acceso: 23 03 2016].
- [94] ROS, «ROS,» 2010. [En línea]. Available: <http://wiki.ros.org/es>. [Último acceso: 30 08 2015].
- [95] F. Alvarado, «Repositorio Digital UPS,» 10 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1681/22/UPS-GT000238.pdf>. [Último acceso: 15 10 2015].
- [96] D. D. D. O. M. Utreras, «Robot Operating System (ROS) como plataforma para extender las capacidades de Legos NXT,» Escuela Politecnica del Litoral, Gauyaquil.
- [97] D. D. V. E. W. y. P. S. Ignacio Corcoglioniti, «LM Tecno,» 04 05 2013. [En línea]. Available: <http://lmtecono2013.blogspot.com/2013/05/terapia-de-rehabilitacion-robotica.html>. [Último acceso: 16 11 2015].
- [98] T. C. FONG T., Vehicle Teleoperation Interfaces, Autonomous Robots, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [99] M. V. Climent Martí, «TRASTORNOS GENERALIZADOS DEL DESARROLLO: AUTISMO INFANTIL,» 5 Mayo 2009. [En línea]. Available: <http://mural.uv.es/climarma/Autismo.html>. [Último acceso: 12 mayo 2015].
- [100] U. Frith, Autismo hacía una explicación del enigma, Madrid : Alianza Editorial, 2013.
- [101] M. A. Z. Montero, «EL SÍNDROME DE ASPERGER Y SU CLASIFICACIÓN,» *Revista Educación*, p. 2 , 2009.
- [102] Junta de Andalucía , «Los trastornos generales del desarrollo. Una aproximación

desde la práctica V.2,» de *Los trastornos generales del desarrollo. Una aproximación desde la práctica V.2*, Sevilla, Consejería de Educación, 2015, pp. 42-46.

- [103] Pérez, L., Guillen, A., Pérez, Ma.I., Jiménez, I., Bonilla, Ma.J., «LA ATENCIÓN EDUCATIVA AL ALUMNADO CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA,» de *LA ATENCIÓN EDUCATIVA AL ALUMNADO CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA*, Sevilla, Junta de Andalucía, 2007, pp. 4-5.
- [104] Junta de Extremadura , «Guía para la atención educativa del alumnado TGD,» de *Guía para la atención educativa del alumnado TGD* , Mérida , JUNTA DE EXTREMADURA, 2007, pp. 16-21.
- [105] B. H. J. S. M. Belinchon, «SÍNDROME DE ASPERGER:UNA GUÍA PARA LOS PROFESIONALES DE LA EDUCACIÓN,» de *SÍNDROME DE ASPERGER:UNA GUÍA PARA LOS PROFESIONALES DE LA EDUCACIÓN*, Madrid , Centro de Psicología Aplicada de la Universidad Autónoma de Madrid, 2009, pp. 11-15.
- [106] M. d. M. G. Matellán, «Guía para la integración del alumnado con TEA en Educación Primaria,» de *Guía para la integración del alumnado con TEA en Educación Primaria*, Salamanca, Instituto Universitario de Integración en la Comunidad – INICO, 2012, pp. 9,10,11.
- [107] Ministerio de Educación, Augusto Espinoza Andrade , *Curriculo de Educación Inicial 20130*, Quito : Ministerio de Educación , 2013.
- [108] Ministerio de Educación, Raúl Vallejo Corral , *Actualización y Fortalecimiento Curricular de la Educación Básica 2010*, Quito : Ministerio de Educación , 2010.
- [109] Autism Help Celica Ysarraelit , Marina Gotelli, «Pautas para mejorar la interacción en el aula del niño con TEA,» *Desafiando al Autismo* , p. 2, 2015.
- [110] ATOMIKRCMX, «MercadoLibre.mx,» 2012. [En línea]. Available: http://mco-s2-p.mlstatic.com/nueva-bateria-venom-lipo-74v-20c-4000mah-hard-case-16787-MCO20126837315_072014-O.jpg.
- [111] K. Schlüssel, «Robotics and Artificial Intelligence Across the Atlantic and Pacific,» 3 ed., Vols. %1 de %21E-30, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1983, pp. 244-251.
- [112] D. Guillén, Tello, D. y B. Galan, «Repositorio Digital - UPS,» 2009. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29/7/Capitulo1.pdf>.
- [113] A. OLLERO BATURONE, «Robótica: Manipuladores y Robots móviles,» 1era. ed.,

- Barcelona, MARCOMBO S.A., 2001.
- [114] Iberobotics, S.L., «Iberobotics,» 2013. [En línea]. Available: http://www.iberobotics.com/shop/product_info.php?products_id=308.
- [115] A. GIMÉNEZ, «Universidad Carlos III de Madrid e-Archivo,» 2000. [En línea]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11711/gimenez_tesis_2000.pdf?sequence=1. [Último acceso: 28 Agosto 2014].
- [116] F. y. P. R. VALDÉS, Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC, 3ra. ed., Cataluña - España: Marcombo, 2007.
- [117] G. ZABALA, ROBOTICA: Guía teorica y Práctica, Gradi S. A., 2007.
- [118] E. P. S. d. Albacete, «Escuela Politécnica Superior de Albacete,» 2014. [En línea]. Available: www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm.
- [119] M. J. DE LA FUENTE, «Universidad de Valladolid - Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática,» 2000. [En línea]. Available: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>. [Último acceso: 01 06 2014].
- [120] D. KUSHNER, «The Making of Arduino,» 26 Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>.
- [121] Arduino S.A., «Arduino,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=>.
- [122] P. GRESH, «Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño,» Hall, 2001.
- [123] Ruta15, «Ruta15,» 27 Septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://ruta15.com/index.php/replicator2/>.
- [124] F. R. GRAM, «Cuyahoga Community College,» 20 Febrero 2012. [En línea]. Available: <http://web.archive.org/web/20120220030524/http://instruct.tri-c.edu/fgram/web/Mdipole.htm>.
- [125] DRK, «Control remoto inflarrojo,» 2012. [En línea]. Available: blog.drk.com.ar.
- [126] K. S. FU, G. R. C. y L. C. S. G., ROBOTICA: Control, detección, visión e inteligencia, McGraw - Hill.
- [127] «Open Source Alternative,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.opensourcealternative.org/>.

- [128] E. P. S. d. Albacete, «Robotica,» [En línea]. Available: <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>.
- [129] Dassault Systemes, «SOLIDWORKS,» 2011. [En línea]. Available: http://www.solidworks.com/sw/docs/Instructor_WB_2011_ESP.pdf.
- [130] K&J Magnetics, Inc., «K&J Magnetics,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.kjmagnetics.com/calculator.asp>.
- [131] Magnet Sales & Manufacturing Company, Inc, « Total Magnetic SolutionsTM,» 2000. [En línea]. Available: http://www.magnetsales.com/design/calc_filles/pullandpushbetween2discmagnets.asp.
- [132] Hobby Store, «Hobby Store,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.hobbyecuador.com/>.
- [133] RC Eléctrico, «RC Eléctrico,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.rcelectrico.es/manuales/capitulo-2-eleccion-de-neumaticos-de-goma-o-espuma>.
- [134] ATOMIKRCMX, «MercadoLibre.mx,» 2012. [En línea]. Available: http://mco-s2-p.mlstatic.com/nueva-bateria-venom-lipo-74v-20c-4000mah-hard-case-16787-MCO20126837315_072014-O.jpg.
- [135] Informatica moderna, «Informatica moderna,» 02 2015. [En línea]. Available: <http://www.informaticamoderna.com/>. [Último acceso: 13 03 2016].

ANEXOS