



ESPE

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

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT
SOCIAL PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA**

AUTORES:

MEJÍA SILVA, MICHELLE CAROLINA

NÚÑEZ ARROBA, JENNIFER ALEXANDRA

DIRECTOR: ING. LOZA MATOVELLE, DAVID CÉSAR. MSc

SANGOLQUÍ

2016



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCIAL PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA" realizado por las señoritas *MEJÍA SILVA MICHELLE CAROLINA Y NÚÑEZ ARROBA JENNIFER ALEXANDRA*, 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 las señoritas *MEJÍA SILVA MICHELLE CAROLINA Y NÚÑEZ ARROBA JENNIFER ALEXANDRA* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de marzo del 2016

ING. DAVID CÉSAR LOZA MATOVELLE
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Las señoritas, *MEJÍA SILVA MICHELLE CAROLINA*, con cédula de identidad N°1720922515 y *NÚÑEZ ARROBA JENNIFER ALEXANDRA*, con cédula de identidad N°1718852492, declaramos que este trabajo de titulación "*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCIAL PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA*" 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 declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui ,14 de marzo del 2016

MICHELLE CAROLINA MEJÍA SILVA
 C.C. 1720922515

JENNIFER ALEXANDRA NÚÑEZ ARROBA
 C.C. 1718852492



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Las señoritas, *MEJÍA SILVA MICHELLE* y *NÚÑEZ ARROBA JENNIFER ALEXANDRA*, autorizamos 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 SOCIAL PARA INTERACCIÓN HOMBRE MÁQUINA" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí ,14 de marzo del 2016

MICHELLE CAROLINA MEJÍA SILVA
C.C. 1720922515

JENNIFER ALEXANDRA NÚÑEZ ARROBA
C.C. 1718852492

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación a mis padres Byron y Maritza, a mi hermano Bryan y a mi amado David, es un privilegio ser su hija, hermana y novia.

Michelle

Dedico el esfuerzo y empeño puestos en este trabajo a mi familia que me ha apoyado a cada instante y a todas aquellas personas que de una u otra manera permitieron que hoy me encuentre culminando esta etapa de mi vida.

Jennifer

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar un paso más en mi vida profesional.

A mis padres por su amor y paciencia al ser mi apoyo incondicional en estos años. Gracias a ustedes afronto la vida con alegría porque tengo dos seres que confían en mí y apoyan mis decisiones.

A mis amigos por los grandiosos momentos compartidos.

A los ingenieros que supieron ser maestros e invirtieron con ahínco su tiempo en mi aprendizaje.

Michelle

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por iluminar mi camino y por darme la fuerza para superar cada obstáculo a lo largo de mi carrera.

A mis padres por su apoyo, por todo el tiempo dedicado, por sus consejos y por ser el motor que me impulsa a seguir adelante.

A mis hermanas por sus consejos, por su apoyo e interés puesto durante esta larga trayectoria

A mi familia, que son el pilar de mi vida. A mis abuelitos por estar siempre pendientes de mi bienestar; a mis tíos que hacían de mi trabajo el suyo, por apoyarme siempre. A mi pequeña primita, que a pesar de su corta edad ha sido un gran aporte para el desarrollo de este proyecto.

A Jaime, gracias por tu apoyo incondicional, por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí.

A mis amigos, por todas esas amanecidas que nos hicieron crecer como personas y por todos esos momentos compartidos

A mis maestros, que aportaron en mi formación académica con sus conocimientos y experiencia.

Jennifer

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL).....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 . Antecedentes	1
1.2 . Justificación e importancia	3
1.3 . Objetivos	4
1.3.1 .Objetivo General	4
1.3.2 . Objetivos Específicos.....	4
1.4. Alcance	4
1.5. Estructura del documento	8

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 . Robot Social.....	9
2.1.1 . Formas de clasificación.....	10
2.1.2 . Arquitecturas de control basadas en la motivación y emoción.....	14

2.2 . Interacción humano-máquina.....	28
2.2.1 . Contexto General	28
2.2.2 . Origen de la Interacción Humano-Robot (HRI).....	30
2.2.3 . Apariencia del robot social y sus efectos en la percepción humana durante la interacción.....	31
2.3 . Robots caricaturescos.....	34
2.3.1 . Visión General	34
2.3.2 . Diseño de robots caricaturescos	35
2.4 . Tele-operación	37
2.4.1 . Historia de los sistemas de tele-operación	38
2.4.2 . Arquitecturas de teleoperación.....	38
2.4.3 . Aplicaciones de la tele-operación	41
2.5 . Visión artificial	45
2.5.1 . OpenCV	45
Resumen.....	45

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL ROBOT

3.1. Metodología de diseño	48
3.1.1. Identificación de necesidades	48
3.1.2. Definición de las especificaciones.....	52
3.1.3. Definición de la arquitectura modular del robot.....	53
3.1.4. Definición de conceptos o alternativas de diseño.....	54
3.1.5. Selección de concepto.....	70
3.1.6. Definición del diseño.....	88
3.1.7. Concepto final.....	124

Resumen.....	126
--------------	-----

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

4.1. Construcción	128
4.1.1. Construcción de la estructura interna	128
4.1.2. Construcción de la estructura externa.....	134
4.2. Costos.....	136
4.3. Pruebas	138
4.3.1. Funcionamiento	139
4.3.2. Interacción	146
Resumen.....	151

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	153
5.2. Recomendaciones	155
Bibliografía	156
ANEXOS	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Identificación de necesidades.....	49
Tabla 2 Qué's y Cómo's para matriz QFD	50
Tabla 3 Importancia relativa de las necesidades	51
Tabla 4 Importancia relativa de las alternativas de solución	51
Tabla 5 Arquitectura modular del robot social.....	53
Tabla 6 Criterios de diseño sub-módulo Generación de movimiento.....	70
Tabla 7 Matriz de criterios de diseño sub-módulo Generación de movimiento	70

Tabla 8 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos.....	71
Tabla 9 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos.....	71
Tabla 10 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos.....	71
Tabla 11 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Generación de movimientos.....	72
Tabla 12 Criterios de diseño sub-módulo Control de actuadores	72
Tabla 13 Matriz de criterios de diseño sub-módulo Control de actuadores.....	72
Tabla 14 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores	73
Tabla 15 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores	73
Tabla 16 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores	73
Tabla 17 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Control de Actuadores	73
Tabla 18 Criterios de diseño sub-módulo Apariencia.....	74
Tabla 19 Matriz de criterios de diseño sub-módulo apariencia	74
Tabla 20 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia.....	74
Tabla 21 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia.....	74
Tabla 22 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia	75
Tabla 23 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Apariencia	75
Tabla 24 Criterios de diseño sub-módulo Ojos.....	75
Tabla 25 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Ojos	75
Tabla 26 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos.....	76
Tabla 27 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos	76
Tabla 28 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos	76
Tabla 29 Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos.....	76
Tabla 30 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Ojos	76
Tabla 31 Criterios de diseño sub-módulo Cejas.....	77

Tabla 32 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo cejas	78
Tabla 33 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo cejas.....	78
Tabla 34 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo cejas.....	78
Tabla 35 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo cejas.....	78
Tabla 36 Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo cejas.....	78
Tabla 37 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Cejas.....	79
Tabla 38 Criterios de diseño sub-módulo Boca	79
Tabla 39 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Boca.....	79
Tabla 40 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Boca	79
Tabla 41 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Boca	80
Tabla 42 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Boca.....	80
Tabla 43 Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Boca	80
Tabla 44 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Boca	80
Tabla 45 Criterios de diseño sub-módulo Cuello.....	81
Tabla 46 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Cuello	81
Tabla 47 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello.....	81
Tabla 48 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello	81
Tabla 49 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello.....	82
Tabla 50 Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello.....	82
Tabla 51 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Cuello.....	82
Tabla 52 Criterios de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna	82
Tabla 53 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna.	83
Tabla 54 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna.....	83
Tabla 55 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna.....	83
Tabla 56 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna.....	83
Tabla 57 Criterios de diseño sub-módulo Tele-operación	84
Tabla 58 Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Tele-operación.....	84
Tabla 59 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Tele-operación	84

Tabla 60 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Tele-operación	84
Tabla 61 Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Tele-operación	85
Tabla 62 Criterios diseño módulo Alimentación Eléctrica	85
Tabla 63 Matriz de criterios diseño módulo Alimentación Eléctrica	85
Tabla 64 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica	85
Tabla 65 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica	86
Tabla 66 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica	86
Tabla 67 Matriz de resultado de alternativa de diseño módulo Alimentación Eléctrica	86
Tabla 68 Criterios diseño módulo Visión	86
Tabla 69 Matriz de criterios diseño módulo Visión	87
Tabla 70 Matriz de criterio A vs alternativas de diseño módulo Visión	87
Tabla 71 Matriz de criterio B vs alternativas de diseño módulo Visión	87
Tabla 72 Matriz de criterio C vs alternativas de diseño módulo Visión	88
Tabla 73 Matriz de resultado de alternativa de diseño módulo Visión	88
Tabla 74 Alternativas de diseño por módulo del robot	89
Tabla 75 Radio mínimo de doblado para algunos materiales a temperatura ambiente	90
Tabla 76 Forma y masa del globo ocular y párpado superior	92
Tabla 77 Chapas metálicas de interés del sub-módulo ojos	96
Tabla 78 Chapas metálicas de interés sub-módulo cuello	106
Tabla 79 Chapas metálicas de interés sub-módulo estructura de soporte interna	109
Tabla 80 Capacidades requeridas para servo-motores	111
Tabla 81 Representación de emociones para la interfaz gráfica	117
Tabla 82 Necesidades energéticas del módulo eléctrico y electrónico	122
Tabla 83 Asignación de motores a pines de tarjeta SSC-32	133
Tabla 84 Costos del proyecto	136
Tabla 85 Resultados de prueba dimensional de elementos	138

Tabla 86 Primera prueba de movimiento	139
Tabla 87 Corrección de la primera prueba de movimiento	140
Tabla 88 Segunda prueba de movimiento	141
Tabla 89 Prueba de expresiones en Cody	143
Tabla 90 Prueba de tiempo de respuesta	145
Tabla 91 Resultados de la encuesta	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Robots sociales más destacados	2
Figura 2 Robots sociales ecuatorianos	2
Figura 3 Kismet.....	5
Figura 4 Robot Telenoid	6
Figura 5 Módulos de Control del Robot Social	7
Figura 6 Telenoid.....	8
Figura 7 Robots sociales para la investigación	11
Figura 8 Robots sociales para el entretenimiento	12
Figura 9 Robots terapéuticos.....	13
Figura 10 Robot sociales de asistencia	14
Figura 11 Vista general de la arquitectura Cathexis por Velásquez	16
Figura 12 Hormona para el proceso de selección de acción	18
Figura 13 Robots del proyecto Felix Grawing.....	18
Figura 14 Aprendizaje mediante arquitectura ALEC	19
Figura 15 Robot Pepper	20
Figura 16 Síntesis de la visión general de los sistemas Breazeal.....	21
Figura 17 Robots de Cynthia Breazel	22
Figura 18 Robots Meseros	24
Figura 19 Robot motivado por colores de camisas	25
Figura 20 Sistema emocional basado en el color de camisas	26
Figura 21 Modelo Fuzzy de las Emociones	28
Figura 22 Libro Yo, Robot.....	30
Figura 23 Valle inquietante de Mori	32
Figura 24 Respuesta cerebral ante interacción:.....	33

Figura 25 MusicMouthe.....	34
Figura 26 Emociones en caricatura.....	35
Figura 27 Diagrama de bloques del controlador Posición-posición.....	39
Figura 28 Diagrama del bloques del controlador fuerza-posición.....	39
Figura 29 Diagrama del bloques del controlador fuerza-fuerza	40
Figura 30 Esquema de cuatro canales	41
Figura 31 Joint European Torus.....	42
Figura 32 Sistema Quirúrgico da Vinci	42
Figura 33 Robots de exploración espacial	43
Figura 34 Satélite ETS-VII2	44
Figura 35 Robots acuáticos	44
Figura 36 Chirira robot humanoide Toshiva.....	54
Figura 37 Alan, androide en forma de gato de Hasbro	55
Figura 38 Mecanismo de ojos animatrónicos de Marshall Tearle	56
Figura 39 Mecanismo de ojos animatrónicos de Fritz	56
Figura 40 Mecanismo de ceja con un motor	57
Figura 41 Mecanismo de ceja con dos motores	58
Figura 42 Mecanismo boca de Blue Point Engineering.....	58
Figura 43 Mecanismo de boca de iCat.....	59
Figura 44 Mecanismo cuello animatrónico de Robotics Squared	60
Figura 45 Mecanismo cuello de Custom Entertainment.....	60
Figura 46 Motor DC.....	62
Figura 47 Motor a pasos	62
Figura 48 Servomotor	63
Figura 49 Control de motor a pasos unipolar con integrado ULN2803.....	64
Figura 50 Control de motor a pasos bipolar con integrado L293	64
Figura 51 a) Placa Arduino Mega ADK	65
Figura 52 Tarjeta SSC-32	65
Figura 53 Cámaras utilizadas en visión artificial.....	68
Figura 54 Mecanismo de ojos Opción C.....	77
Figura 55 Relación de dimensiones en chapas metálicas	90
Figura 56 Partes del sub-módulo Ojos.....	91

Figura 57 Diagrama cuerpo libre husillo servomotor	93
Figura 58 Torque requerido por Párpado	94
Figura 59 Torque requerido por globo ocular	94
Figura 60 Esfuerzo de Von Mises en placa soporte de ojos	97
Figura 61 Factor de seguridad en placa soporte de ojos	97
Figura 62 Esfuerzo de Von Mises para placa soporte de motores sub-módulo ojos	98
Figura 63 Factor de Seguridad para placa soporte de motores sub-módulo ojos	98
Figura 64 Esfuerzo de Von Mises de placa para acople a cabeza.....	99
Figura 65 Factor de seguridad de placa para acople a cabeza	99
Figura 66 Partes del sub-módulo Cejas.....	100
Figura 67 Torque requerido por ceja.....	100
Figura 68 Esfuerzo de Von Mises de placa cejas.....	101
Figura 69 Factor de seguridad de placa cejas	101
Figura 70 Partes del sub-módulo Boca	102
Figura 71 Torque requerido por Boca.....	102
Figura 72 Esfuerzo de Von Mises de placa boca	103
Figura 73 Factor de seguridad de placa boca.....	103
Figura 74 Partes del sub-módulo cuello.....	104
Figura 75 Torque requerido por cuello a) Motor M1 b) Motor M2 c) Motor M3 d) Motor M4	105
Figura 76 Esfuerzo de Von Mises de guía cuello	107
Figura 77 Factor de seguridad de guía cuello	107
Figura 78 Esfuerzo de Von Mises de soporte cuello motor.....	108
Figura 79 Factor de seguridad de soporte cuello motor.....	108
Figura 80 Partes del sub-módulo estructura interna.....	109
Figura 81 Esfuerzo de Von Mises para placa soporte ojos y cejas	110
Figura 82 Factor de seguridad para placa soporte ojos y cejas.....	110
Figura 83 Datos técnicos micro-servo HXT-900.....	111
Figura 84 Datos técnicos servo MG995.....	112
Figura 85 Datos técnicos servo	113
Figura 86 Partes de tarjeta SSC-32	114
Figura 87 Pestaña de Presentación de la Interfaz Gráfica.....	116

Figura 88 Pestaña de Tele-operación de la Interfaz Gráfica	116
Figura 89 Especificación de expresiones en Joystick	118
Figura 90 Esquema de nodos	118
Figura 91 Diagrama de flujo control Cody	120
Figura 92 Comportamiento de los patrones del algoritmo Haar	123
Figura 93 Cámara Acteck 1200	124
Figura 94 Etapa física interna de Cody	125
Figura 95 Interfaz gráfica de Cody	126
Figura 96 Elementos sub-módulo Cejas	129
Figura 97 Elementos sub-módulo Ojos	129
Figura 98 Elementos sub-módulo Boca	130
Figura 99 Elementos sub-módulo Cuello	130
Figura 100 Ensamblaje de ojos, cejas y boca	131
Figura 101 Ensamble completo de cabeza	131
Figura 102 Ensamble Cuello	132
Figura 103 Ensamble estructura interna	132
Figura 104 Estructura interna con cables de servo-motores etiquetados y organizados	133
Figura 105 Diagrama de conexión tarjeta SSC-32	134
Figura 106 Cuerpo en base a mallas metálicas y cabeza de cartón	135
Figura 107 Toma de medidas y formas primitivas de la apariencia del robot	135
Figura 108 Cody apariencia completa	136
Figura 109 Collage de detección y seguimiento de rostros	144
Figura 110 Rendimiento exigido por la aplicación	146
Figura 111 Prueba de interacción con una niña de 3 años	147
Figura 112 Diagrama de barras pregunta 1 de la encuesta	149
Figura 113 Diagrama de barras pregunta 2 de la encuesta	149
Figura 114 Diagrama de barras pregunta 3 de la encuesta	150
Figura 115 Diagrama de barras pregunta 4 de la encuesta	150
Figura 116 Diagrama de barras pregunta 5 de la encuesta	151
Figura 117 Diagrama de barras pregunta 6 de la encuesta	151
Figura 118 Diagrama de barras prueba de expresiones	152

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño y construcción de un robot social para interacción hombre-máquina. Se creó un panda robot tele-operado, que responde a los principios de la robótica social, es decir el robot es capaz de interactuar y comunicarse con los humanos, esto lo realiza mediante expresiones (feliz, triste, dudoso, enojado, dormido, sorprendido y neutral), movimientos y sonidos. El robot lleva por nombre Cody, pesa 4Kg, ocupa un espacio de 40x40x80 cm y está conformado por 3 elementos apreciables por el usuario estos son: una interfaz gráfica de control, dispositivo de mando remoto y el cuerpo del oso. El ente cibernético desarrollado presenta una arquitectura modular por ello, forma un sistema abierto donde cada elemento funcional puede ser reemplazado, sin que esto exija un cambio en los demás elementos del mismo. El entorno de control fue desarrollado en ROS y cuenta con siete nodos con los cuales se facilita la comunicación y coordinación de las funciones de movimiento, visión, dispositivos externos, detección y seguimiento de rostros y reproducción de sonido, con la interfaz gráfica de usuario. Todos los programas y aplicaciones fueron desarrollados en software libre tal es el caso de Python, Open CV y el mismo entorno ROS. Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento determinan la robustez y eficiencia del mecanismo diseñado; por otro lado, las pruebas de interacción realizadas revelan una fluidez durante la misma, corroborando que el diseño estético ha sido el indicado y no ha caído en el valle inquietante de Mori.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBÓTICA SOCIAL**
- **TELE-OPERACIÓN**
- **INTERACCIÓN HUMANO- MÁQUINA**

ABSTRACT

This project relates the design and construction of a social robot for man-machine interaction. A tele-operated panda robot was built, which fulfills the principles of social robotics, it means, it's able to interact and communicate with humans, this is achieved with expressions (happy, sad, doubtful, angry, asleep, surprised and easygoing), movements and sounds. Its name is Cody, it weighs 4 kg, occupies a space of 40x40x80 cm and it's made up of three significant elements for users, these are: graphical interface of control, remote control device and bear's body. The cybernetic bear was built with a modular architecture; therefore, each functional element can be replaced without requiring a change in other elements of it. The control environment was developed using ROS, it has seven nodes which provide and facilitates the communication and coordination of movement functions between vision, external devices, detection and tracking faces and sound reproduction with the graphical user interface. All programs and applications were developed in open source software, these are: Python, Open CV and itself ROS environment. As a result, performance tests determine the robustness and efficiency of the mechanism designed; on the other hand, interaction tests carried out reveal a natural interaction between user and robot, these tests corroborate that aesthetic design has been appropriated and has not fallen into Mori's Uncanny Valley.

KEYWORDS:

- **SOCIAL ROBOTIC**
- **TELEOPERATION**
- **HUMANO-ROBOT INTERACTION**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Este apartado contempla los antecedentes, objetivos, justificación e importancia del desarrollo y construcción de un robot social para interacción humano-máquina. Además, se brinda una breve reseña de la evolución de los robots sociales y se define el alcance que tendrá el proyecto junto un esquema de la presente memoria.

1.1. Antecedentes

La robótica como hoy en día la conocemos, tiene sus orígenes hace miles de años. (Molina Marticorena, 2015). Desde la década de los 90's ya se buscaba desarrollar robots que se comuniquen e interactúen con las personas, por lo que se hizo necesario que estos transmitan emociones ya sea para el aprendizaje, comunicación, percepción o toma de decisiones. (Infinitto News, 2014)

A finales de 1990, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts se desarrolló un robot antropomórfico expresivo llamado Kismet, que involucraba a la gente en la interacción natural y expresiva cara a cara. Kismet está diseñada para hacer uso de protocolo social humana para diversos fines. Uno de esos fines era facilitar una interacción infante-cuidador natural. (CSAIL, 2000)

Entre los robots sociales más importantes podemos mencionar a MAGGIE (Figura1.1(a)), un robot desarrollado por el Robotics Lab de la UC3M en España, capaz de reconocer voz, caras y sentir cuando alguien le toca (Universidad Carlos III de Madrid, 2014); PARTNER ROBOT (Figura1.1(b)), creado por Toyota para ofrecer servicio a la población de la tercera edad (TOYOTA, 2015); ASIMO (Figura1.1(c)), creado por Honda primero en lograr que un robot caminara. (ASIMO, 2015)

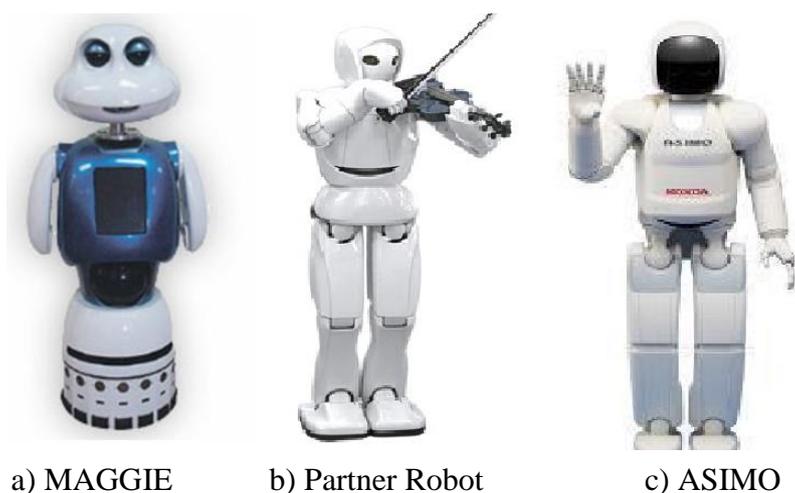


Figura 1 Robots sociales más destacados

Fuente: (Universidad Carlos III de Madrid, 2014), (TOYOTA, 2015), (ASIMO, 2015)

En el Ecuador, también se han desarrollado trabajos relacionados con la robótica social, entre los que podemos mencionar: K-Lu-K (Figura1.1(a)), un rostro robótica que posee apariencia humana y ejecuta gestos y emociones controladas de manera inalámbrica (Ruales Cortés, 2014); Hensar (Figura1.1(b)), robot con representación lo más cercana a las expresiones humanas (Astudillo , López , & Sotomayor, 2014); y Sam (Figura1.1(c)), un robot diseñado para apoyo al adulto mayor (Valencia Redrován & Gonzalez Delgado, 2014).



a) K-LU-K

b) Hensar

c) SAM

Figura 2 Robots sociales ecuatorianos

Fuente: (Ruales Cortés, 2014), (Astudillo , López , & Sotomayor, 2014),
(Valencia Redrován & Gonzalez Delgado, 2014)

1.2. Justificación e importancia

Los robots a nivel industrial empiezan a utilizarse con mayor frecuencia a partir de la década de 1960, por su rapidez y precisión cumplen tareas como transporte, soldadura, ensamblaje, pintura, entre otros. Sin embargo, por la potencia con los que estos trabajan se los ha considerado peligrosos para las personas y por lo tanto se los ha alejado de ellas. (BBVA, 2002)

Por otro lado, lo social ha sido considerado una característica propia del ser humano y no de las máquinas. Un complejo proceso de investigación, implantación y diseño hizo posible imitar comportamientos humanos e incorporar estos en chips, abriendo un nuevo campo de investigación, donde la necesidad principal es entender hasta qué punto el ser humano puede ser imitado a través de un robot social. (Vincent, Taipale, Sapio, Lugano, & Fortunati, 2015)

La interacción es la principal diferencia entre un robot industrial y un robot social, por lo que la interacción entre el humano y el robot, más conocida como IHR (Interacción Humano-Robot) es una de las características más importantes y uno de las tareas más difíciles de alcanzar, debido a que la mente humana no reacciona emocionalmente frente a objetos artificiales. (Takayuki & Hiroshi, 2012). El ser humano es social por naturaleza por lo que la interacción humano-humano genera un sinnúmero de experiencias. Lograr que esa misma experiencia se alcance al interactuar con un robot abre un nuevo campo de estudio, una nueva línea de investigación a lo que ahora llamaremos robótica social. (Vincent, Taipale, Sapio, Lugano, & Fortunati, 2015)

En los últimos años, el interés en robots integrados en el entorno cotidiano ha crecido, el papel de los mecanismos emocionales se ha vuelto muy popular. Hoy en día podemos ver en algunos países del mundo robots utilizados en el hogar, en las oficinas, para publicidad y hasta para tratamientos y asistencia médica. Sin embargo en el Ecuador este tipo de robots se han desarrollado muy poco.

Por todo lo mencionado anteriormente, el presente trabajo de investigación trata del desarrollo de un robot capaz de expresar diferentes emociones creando un ambiente natural al interactuar con las personas, y de esta manera contribuir a investigaciones ya existentes en el campo de la robótica social.

Un aporte adicional del proyecto, es el uso un sistema operativo robótico (ROS), una aplicación de software libre que provee librerías y herramientas que facilitan la creación de aplicaciones para robots.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y construir robot social que sea capaz de interactuar con personas y permita tele-operación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema mecánico, eléctrico y electrónico que permita el correcto funcionamiento del robot social.
- Implementar un software de tele-operación para la interacción humano-máquina utilizando ROS (Robot Operating System).
- Realizar las pruebas necesarias de interacción humano-máquina que posibiliten la detección de ajustes requeridos en el sistema.

1.4. Alcance

En la actualidad, se están diseñando robots que puedan interactuar con las personas, ya sea atendiendo a discapacitados y ancianos, desempeñando el rol de recepcionistas o dependientes en centros comerciales, o incluso actuando de maestros de refuerzo o niñeras (Torras, 2014). En este contexto, el presente proyecto es

bienvenido debido a que constituye una iniciativa para facilitar la interacción humano-máquina en base a la tele-operación.

La implementación del robot en cuestión contempla tres aspectos importantes los cuales son los siguientes:

- Diseño Mecánico
- Diseño Eléctrico y Electrónico
- Diseño del Sistema de Control

La estructura mecánica del robot social comprenderá tres secciones: base, cabeza y actuadores, configuración semejante a Kismet que se muestra en la Figura 3.

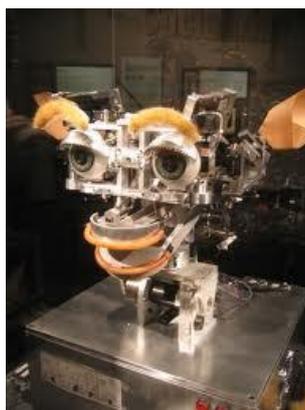


Figura 3 Kismet

Fuente: (Nova, 2015)

La base o bastidor se diseñará para soportar todos los esfuerzos generados por los movimientos de los demás miembros del robot otorgándole la rigidez necesaria al mismo, estará conformado por tres subestructuras: soporte, cuello y contrapeso (si amerita el caso).

La cabeza se conformará mediante las articulaciones necesarias para expresar las emociones básicas (felicidad, duda, sorpresa, tristeza, enfado, neutralidad, sueño), el diseño de la cadena cinemática pretenderá optimizar los grados de libertad para efectuar dichos movimientos adecuadamente. La cara del robot poseerá ojos, cejas,

párpados y boca. Facialmente se desarrollará un ente caricaturesco mejorando -en cuanto a estética- la tendencia del Profesor Hiroshi Ishiguro en su trabajo denominado Telenoid (ATR Hiroshi Ishiguro Laboratory, 2010), en éste, el experto asegura que para expresar emociones no es necesario que el robot se asemeje totalmente a una persona, en su lugar promueve estructuras minimalistas (Cuéllar, 2013) como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4 Robot Telenoid

Fuente: (ATR Hiroshi Ishiguro Laboratory, 2010)

Los actuadores - motores- serán los encargados de generar el movimiento en las articulaciones, su selección se la realizará de acuerdo a su potencia tanto mecánica como eléctrica. Con ayuda de sistemas de transmisión y reductores se pretenderá disminuir el número de actuadores para alivianar el peso de la estructura y bajar el consumo energético del robot.

Los principales elementos electrónicos para el proyecto se dividirán en dos niveles:

- Nivel de Potencia
- Nivel de Control

El circuito de potencia poseerá además un circuito protector constituido por fusibles, varistores e interruptores, los cuales salvaguardarán al robot en caso de alguna falla.

El nivel de control se encargará de tres funciones básicas: adquirir, acondicionar y controlar señales. La adquisición de datos se realizará mediante cámaras web para la recopilación de imágenes. La señal enviada será procesada por un controlador y el sistema ROS. ROS enviará señales de control que serán recibidas por los módulos que permiten el acople a los motores otorgando parámetros de corriente y voltaje óptimos. Los módulos de control se esquematizan en la Figura 5.

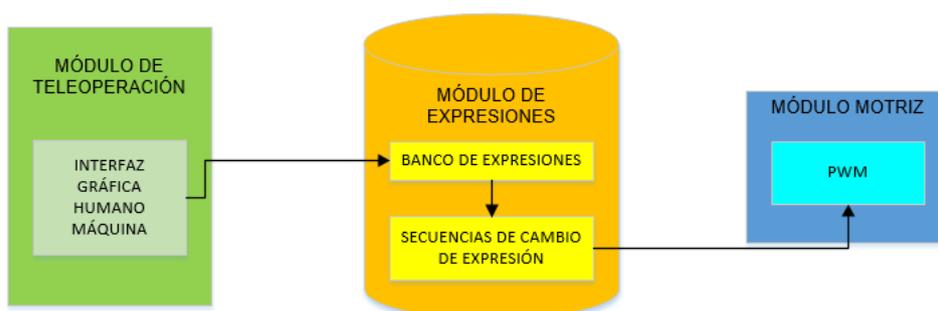
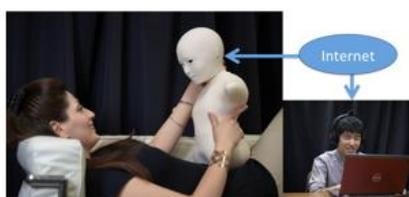


Figura 5 Módulos de Control del Robot Social

El comportamiento del robot se controlará mediante tele-operación de manera semejante a Telenoid como se muestra en la Figura 6, el ente no requiere de la implementación de un sistema de control sofisticado o de algoritmos de programación complejos de inteligencia artificial.



a)

continúa





b)

Figura 6 Telenoid**a) Tele-operación****b) Telenoid en centros de retiro**

Fuente: (ATR Hiroshi Ishiguro Laboratory, 2010)

1.5. Estructura del documento

El presente informe se estructura en cinco capítulos. En la primera sección se da a conocer al lector los antecedentes, objetivos, alcance e importancia del proyecto; como segundo apartado se provee una visión general de la robótica social, interacción humano-máquina, creación de entes caricaturescos y tele-operación de robots. En el tercer capítulo se presenta la estructura física, funcional y operativa del robot; se detalla los dispositivos y elementos utilizados para el diseño mecatrónico del mismo. La evaluación de los parámetros de desempeño del sistema en conjunto se encuentra en el cuarto apartado; como último ítem, las conclusiones y recomendaciones generadas durante el desarrollo del robot se proyectan en el capítulo cinco.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta conceptos generales relacionados con el tema principal de la tesis. Analizaremos temas generales como la definición de un robot social, sus tipos, características y arquitecturas de control. Se incluirá también una breve introducción de la Interacción Humano-Robot y el efecto de la forma de un ente cibernético en la percepción de las personas. Se tendrá un apartado dedicado al diseño y construcción de rostros caricaturescos y para finalizar se ahondará en el tema de tele-operación.

2.1. Robot Social

El sitio web MEGATENDENCIAS (Moriello, MEGATENDENCIAS, 2008) define a un robot social como “aquel que interactúa y se comunica con las personas (de forma sencilla y agradable) siguiendo comportamientos, patrones y normas sociales.”

Inicialmente los robots estaban relacionados con cadenas de producción. La definición nos muestra un desplazamiento del ámbito industrial al ámbito social, esto ocurre debido a la creciente necesidad de mano de obra en el ámbito asistencial y de servicio.

Los robots sociales son robots que interactúan con las personas y no entre ellos. Se les atribuye esta característica debido a que son robots construidos con aplicaciones que envuelven interacción con el ser humano en actividades cotidianas como: el cuidado de personas adultas, terapias, entretenimiento, publicidad, entre otras. (Parisi, 2014)

2.1.1. Formas de clasificación

En su mayoría, las formas de clasificación de los robots están enfocados al grado de interacción que del humano y el robot, aunque también se examinan elementos técnicos como el software, la arquitectura y el diseño de la interfaz. Breazeal (Breazeal C. L., 2004), categoriza a los robots en cuatro categorías según su interacción:

- Socialmente evocadora: fomenta la antropomorfización de la tecnología, como en el caso de los juguetes
- Interfaces sociales: robots con señales sociables de apariencia humana
- Socialmente receptivos: robots que aprenden durante la interacción
- Sociables: que se comprometen con la gente para el su beneficio.

Por otra parte, teniendo en cuenta la definición dada anteriormente que hace hincapié en una interacción según la aplicación para lo que fueron diseñados, Dominic Parisi (Parisi, 2014) clasificar los robots en:

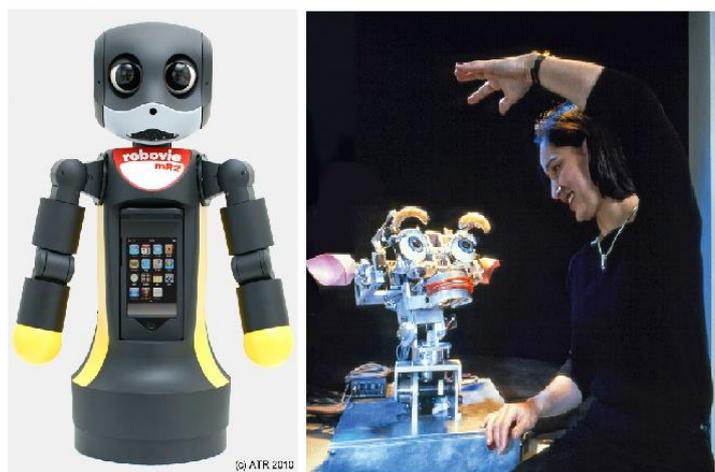
- Robots sociales para la investigación
- Robots sociales para el entretenimiento
- Robots sociales terapéuticos
- Robots sociales para la asistencia.

Con enfoque en la última clasificación mencionada, revisaremos algunos de los robots más notables.

2.1.1.1. Robots sociales para la investigación

En muchos centros de investigación la interacción humano-robot es uno de los temas principales. Entre los centros de investigación más importantes podemos mencionar al IRC (Intelligent Robotics and Communication Laboratories) y el MIT (Massachusetts Institute of Technology).

- Intelligent Robotics and Communication Laboratories tiene una larga tradición en la robótica social. Una de sus creaciones es Robovie (Figura 7(a)) un robot humanoide diseñado para la comunicación con las personas, una de sus características más atractivas es el hecho de que puede colocarse un iPod en su pecho para controlarlo. (techcrunch, 2010)
- Massachusetts Institute of Technology, ha producido importantes robots sociales, de ellos el primero y uno de los más importantes Kismet (Figura 7 (b)), un robot expresivo que proporciona una interacción infante cuidador natural. Considerado uno de los más caros de la época. (Breazeal C. , Kismet, el robot)



a) Robovie

b) Kismet

Figura 7 Robots sociales para la investigación

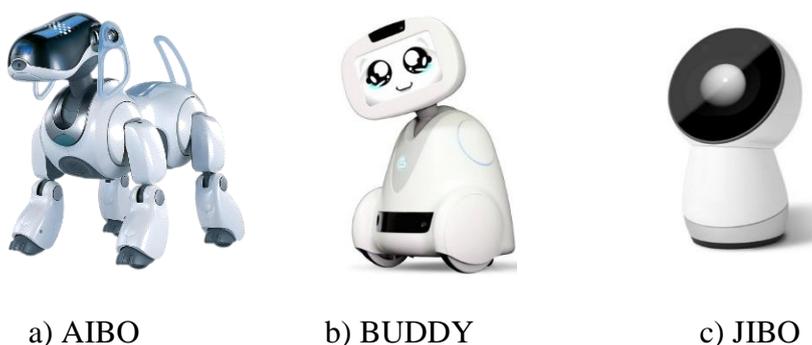
Fuente: (Breazeal C. , Kismet, el robot), (techcrunch, 2010)

2.1.1.2. Robots sociales para el entretenimiento

La compañía japonesa Sony comenzó su vida comercial con uno de los primeros robot destinados para el hogar AIBO (Figura 8(a)). Carnegie Mellon (2006) describe a Aibo es un robot que tiene la capacidad de ver, oír y entender ordenes; puede aprender, adaptarse al entorno y expresar emociones, uno de los robots más sofisticados de los últimos años.

Otro robot, creado por la empresa francesa Blue Frog Robotics es BUDDY (Figura 8 (b)), un robot social para conectarse, proteger e interactuar con los miembros de la familia. Entre sus diversas funciones se destaca la posibilidad de grabar tareas diarias, hacer instrucciones como llamadas, fotos o videos y velar por la seguridad de los niños cuando están solos en casa. (Thinking big, 2015)

Finalmente dentro de esta categoría no podemos dejar de lado a la última creación de Cynthia Breazeal (2015), Jibo (Figura 8 (c)), un robot de escritorio que tiene la capacidad de una interacción emocional. Puede contar cuentos, hacer fotos, videos llamadas y recordar eventos agendados. Su rostro es una pantalla táctil que le permite desarrollar un sinnúmero de gestos, además de un movimiento libre a 360°.



a) AIBO

b) BUDDY

c) JIBO

Figura 8 Robots sociales para el entretenimiento

Fuente: (Carnegie Mellon, 2006), (Thinking big, 2015), (Breazeal C. , JIBO, 2015)

2.1.1.3. Robot social terapéutico

Muchos robots han sido diseñados con fines terapéuticos. Algunos de ellos se muestran en la Figura 9. Omron Corporation desarrollo NeCoRo, un gato robótico muy realista, tiene sus propias emociones y deseos y su comportamiento cambia en función de cómo es tratado por su propietario. (Megadroid, 2004)

Otro famoso robot terapéutico, Paro. (Paro ROBOTS U.S., 2014) Un avanzado robot interactivo desarrollado por AIST, utilizado en ambientes de

hospitales para tratamientos terapéuticos como reducción de estrés, estimulación de interacción, promover la socialización, entre otras funciones

También se han desarrollado robots aplicados para niños que sufren algunos desordenes. Keepon, un robot social diseñado para la interacción con niños con desordenes como el autismo. Este robot busca tener una participación positiva con los niños que tiene una conducta social abrupta. (beatbots, 2014).



a) NeCoRo



b) Paro



c) Keepon

Figura 9 Robots terapéuticos

Fuente: (Megadroid, 2004), (Paro ROBOTS U.S., 2014), (beatbots, 2014)

2.1.1.4. Robot social para asistencia

Otra de las plataformas robóticas que sirve de soporte en las tareas de los seres humanos, como manipulación de objetos, tareas diarias e incluye el aumento de las capacidades de personas especiales. Muchos de estos robots desarrollados para el trabajo de asistencia se observan en la figura 10.

Phillips Corporation (2004) desarrollo iCat (Figura 10(a)), este es un robot de escritorio capaz de desarrollar diferentes expresiones faciales, es capaz de reconocer al usuario, crear un perfil del mismo y manejar sus solicitudes. También puede personalizar el ambiente con iluminación y sonido.

La compañía japonesa NEC desarrollo en el 2001 su propio prototipo PaPeRo (Figura 10 (b)), diseñado para vivir con las personas y acompañarles,

especialmente a niños y adultos mayores. Posee comportamientos autónomos, puede jugar y también puede ser operado a control remoto (Plasticpals, 2014)

Finalmente tenemos a Telenoid (Figura 10 (c)), un humanoide con apariencia humana mínimo, su piel genera una sensación agradable al tocarla, muy parecida al del ser humano. Su forma de operación es teleoperada. (Laboratory, 2002)



a) iCat



b) PaPeRo



c) Telenoid

Figura 10 Robot sociales de asistencia

Fuente: (Philips, 2004), (Plasticpals, 2014), (Laboratory, 2002)

2.1.2. Arquitecturas de control basadas en la motivación y emoción

A lo largo de la historia el control de los robots se ha basado en el paradigma deliberativo (percepción- planificación-acción), el cual mediante una estructura jerárquica de sentencias de programa modela el mundo para el ente cibernético (Bermejo, 2003). Para un robot la interacción humana es una tarea de elevada complejidad. La manera más óptima de que un robot ejecute esta tarea compleja es empleando arquitecturas cognitivas artificiales de limitada inspiración biológica, es decir, sistemas que emulen una parte del funcionamiento de un cerebro humano.

La manera en que un robot social toma decisiones está íntimamente ligada a su arquitectura de control (González, 2012). En los últimos años se han incluido

conceptos cognitivos a dichas arquitecturas, tales como motivaciones, emociones y aprendizaje.

Las arquitecturas que cumplen de mejor manera el objetivo de expresar el estado afectivo cuando los robots interactúan con los seres humanos, en orden cronológico, son las siguientes (González, 2012):

- Arquitectura Cathexis
- Enfoque de Cañamero
- Arquitectura ALEC
- Modelo Breazeal

En la presente memoria se darán a conocer otras arquitecturas de control, que si bien es cierto, no poseen un aporte representativo referente a la interacción humano-máquina, su estructura funcional para lograr objetivos específicos podría ser útil en el desarrollo del proyecto.

2.1.2.1. Arquitectura Cathexis

Esta arquitectura plantea a las emociones como componentes fundamentales dentro del proceso de toma de decisiones. La arquitectura de Cathexis – ver figura 11 - está formada por tres módulos principales: el sistema de control, el sistema de generación de emociones y el sistema de comportamiento. En este modelo, el sistema emocional es la principal motivación del agente (Velásquez & Maes, 1997).

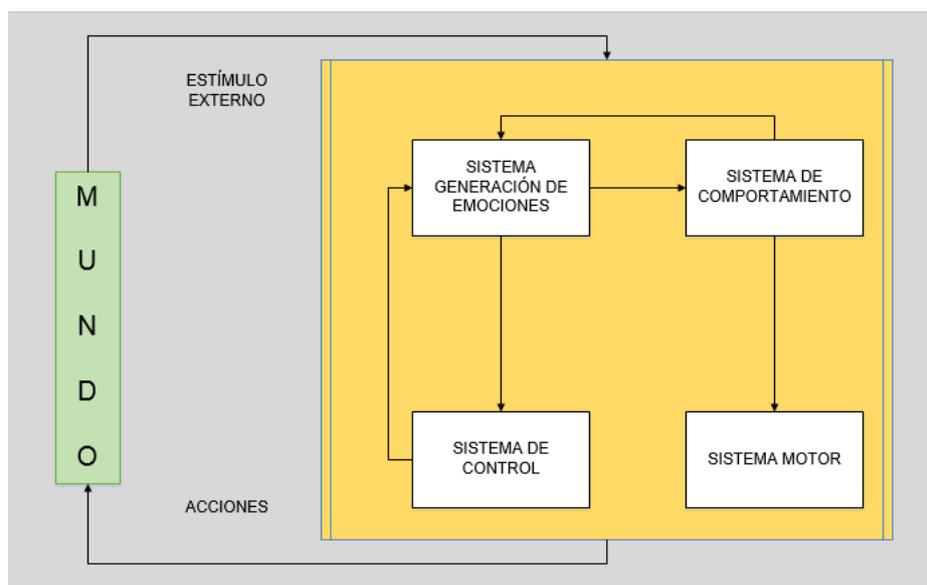


Figura 11 Vista general de la arquitectura Cathexis por Velásquez

Fuente: (Velásquez, 1998)

Las emociones pueden ser provocadas por interno (por ejemplo, controladores, procesos sensorio motores) o por los estímulos externos (eventos en el medio ambiente). Cada emoción tiene un umbral de activación (sobre él, la emoción influye en otras emociones y el sistema de comportamiento) y un umbral de saturación (máxima excitación de una emoción) (Velásquez, 1998). Todos los procesos de emoción se ejecutan en paralelo y en constante actualización de sus intensidades.

En esta arquitectura, las emociones se diferencian de estado de ánimo y temperamento. Estado de ánimo se explica como una tonalidad baja de excitación en las emociones. Los temperamentos están asociados a diferentes umbrales de activación y la saturación de las emociones.

2.1.2.2. Enfoque de Cañamero

El fundamento de este enfoque es que el comportamiento de un agente autónomo es dirigido por sus estados motivacionales y sus emociones básicas. Las motivaciones, de acuerdo con Cañamero (2002), pueden ser vistas como procesos homeostáticos que mantienen una variable controlada dentro de un cierto rango.

Cuando el valor de esta variable no es igual a su valor ideal, el módulo correspondiente emerge.

La intensidad de la motivación es una función de su unidad relacionada y un determinado estímulo externo, también conocido como estímulo ambiental o señal de incentivo (Cañamero, 2002). Una vez que se obtiene la más alta incitación, la intensidad de cada comportamiento vinculado a ésta, se calcula y el que tiene mayor magnitud se ejecuta; es decir la motivación con el valor más alto establece el comportamiento del robot con el fin de satisfacer su accionamiento.

Las emociones artificiales implementadas (enojo, aburrimiento, miedo, felicidad, interés y tristeza) siguen un enfoque discreto y trabajan como mecanismos de vigilancia para hacer frente a situaciones importantes relacionadas con la supervivencia (Cañamero, 2005). Las emociones se activan como resultado de las interacciones del robot con el mundo, dependiendo de diferentes eventos. Por ejemplo, la ira se activa cuando el agente no ha culminado su objetivo, o el aburrimiento se activa cuando el robot realiza una actividad repetitiva.

Posteriormente, Ávila-García y Cañamero aplicaron un elemento "similar a una hormona", para adaptar el proceso de selección de las acciones a las circunstancias dinámicas y cambiantes del entorno (Ávila-García & Cañamero, 2005). Tal componente, que se aprecia en la Figura 12, modula la percepción de los estímulos externos con el fin de adaptar la misma arquitectura a las nuevas circunstancias ambientales donde el robot compite con otros por los mismos recursos.

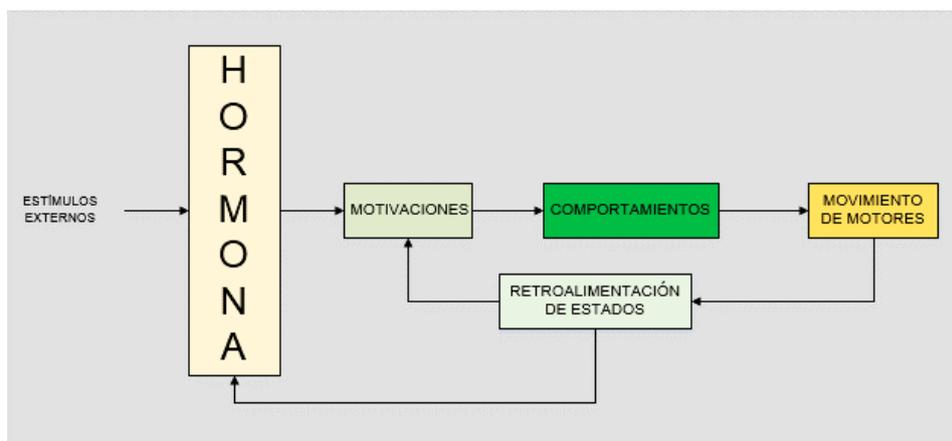


Figura 12 Hormona para el proceso de selección de acción

Fuente: (Avila-García & Cañamero, 2005)

La BBC Mundo (2007) en un artículo publicado en su sitio web, informa que el enfoque Cañamero es aplicado por su misma autora en el proyecto denominado "Felix Growing", iniciado en el 2007, éste involucra a 25 expertos en robótica, psicólogos y neurocientíficos. Lola Cañamero manifiesta que el objetivo es construir robots que "aprendan de los humanos y respondan de una manera social y emocionalmente apropiada". En la Figura 13 se puede apreciar algunos de los robots generados en el proyecto Felix Growing.

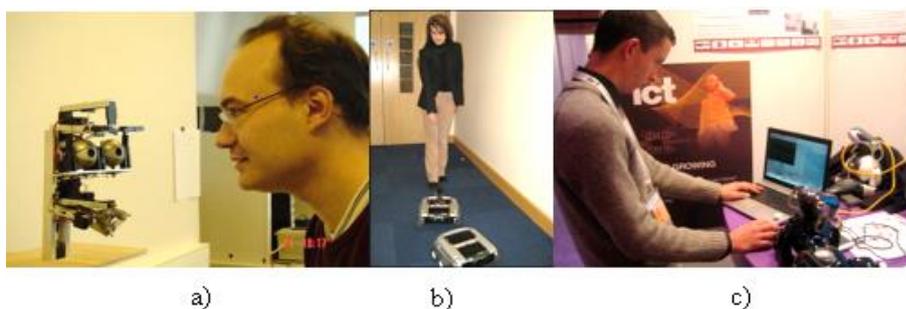


Figura 13 Robots del proyecto Felix Growing
a) Cabeza Robótica para interacción, b) Robots móviles en comportamiento impronta, seguir a la "madre".c) Reprogramación de Aibo

Fuente: (FEELIX GROWING Consortium, 2010)

2.1.2.3. La arquitectura ALEC

La arquitectura ALEC se muestra en la Figura 14, está compuesta principalmente por la emoción y los sistemas cognitivos. En esta arquitectura, las

emociones toman la forma de evaluaciones o predicciones del estado interno y las metas se asocian explícitamente a un conjunto de variables homeostáticas (Gadanho & Custodio, 2002). Estas variables permiten aprender la utilidad de cada comportamiento y tomar decisiones en función del mismo. Además, el sistema cognitivo proporciona un proceso de toma de decisiones alternativa que puede corregir la decisión del sistema de emoción. El sistema de la emoción está compuesto a su vez por otros dos subsistemas: el sistema de meta y el sistema adaptativo.

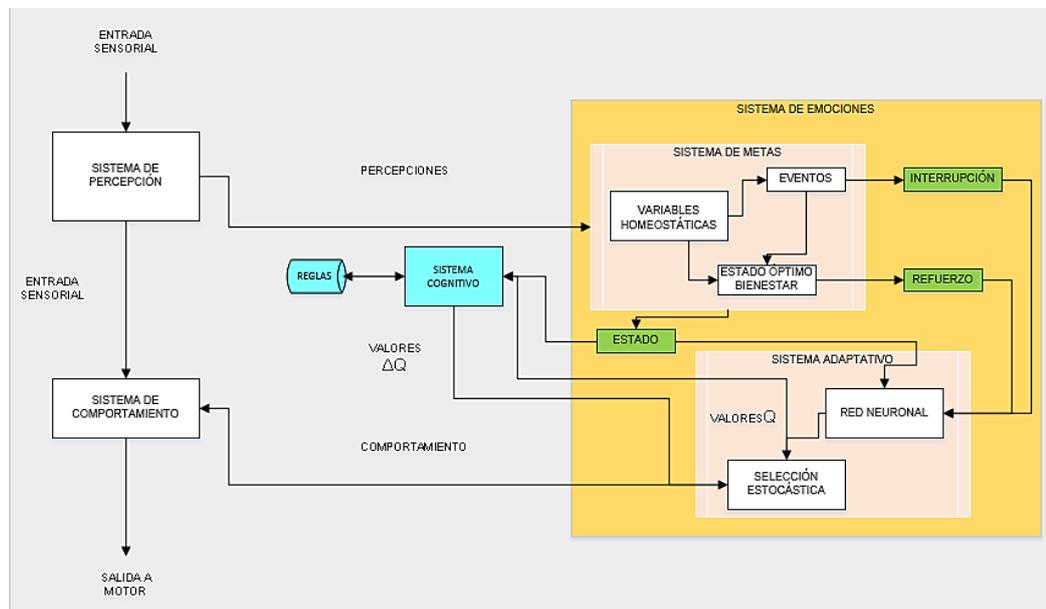


Figura 14 Aprendizaje mediante arquitectura ALEC

Fuente: (Gadanho S. C., 2003)

El sistema meta evalúa los comportamientos seleccionados y notifica cuando un comportamiento debe ser interrumpido (Gadanho S. C., 2003). En otras palabras, determina el refuerzo y cuando el comportamiento de conmutación debe ocurrir. El rendimiento de un comportamiento se mide en términos del estado de las variables homeostáticas que deben mantenerse dentro de cierto rango. Con el fin de reflejar el estado hedónico del agente, se crea un valor bienestar que depende principalmente del valor de las variables homeostáticas, sus estados, sus transiciones y sus predicciones. Este valor bienestar se utiliza como la función de refuerzo.

El sistema adaptativo está a cargo del proceso de aprendizaje para ello implementa el algoritmo Q-Learning, por lo que aprende el valor de utilidad para cada acción (Gadano S. C., 2003). Estos valores se almacenan por redes neuronales que son alimentados con las variables homeostáticas y otros datos sensoriales. Como resultado, el agente va a tratar de maximizar el refuerzo recibido seleccionando entre todas las acciones disponibles.

Por último, el sistema cognitivo se basa en un conjunto de reglas extraídos de la interacción agente entorno que representan selecciones particulares de comportamiento exitosos. Estas reglas se pueden actualizar, eliminar, o incluso fusionarse (Gadano S. C., 2003) (Gadano & Custodio, 2002).

El modelo ALEC ha servido de base para que SoftBank genere un motor de interacción e inteligencia artificial denominado "Emotional Engine" y crear a Pepper, el robot de la Figura 15, el ente debe estar conectado a la nube para compartir lo que va aprendiendo y mejorar sus reacciones de forma colectiva (Puerto, 2014). El objetivo principal de Pepper es reconocer las emociones de la persona que tiene delante, y obrar en consecuencia.



Figura 15 Robot Pepper

Fuente: (Softbank, 2014)

2.1.2.4. Modelo Breazeal

Cynthia Breazeal propone un sistema de emoción, donde se determina el estado afectivo del robot. El Sistema está conformado por las unidades que corresponden a las necesidades innatas, el Sistema de Comportamiento, que está a cargo del arbitraje de los comportamientos disponibles y otros módulos que están conectados directamente con el hardware, ver Figura 16.

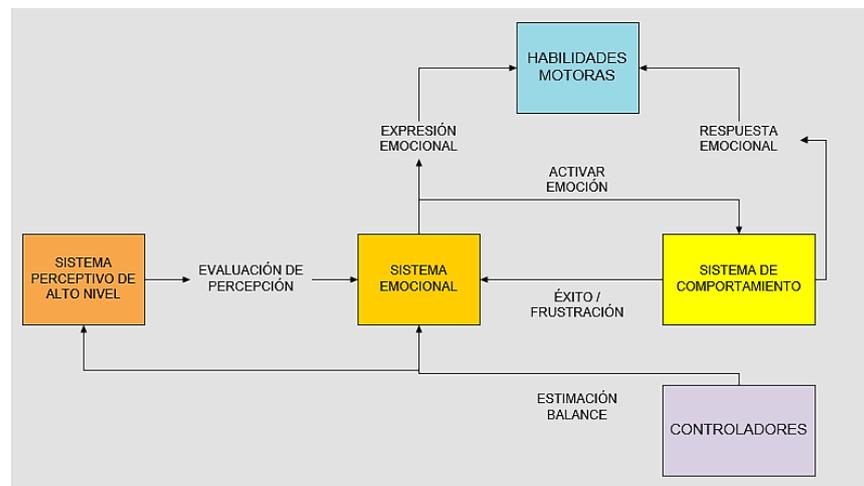


Figura 16 Síntesis de la visión general de los sistemas Breazeal

Fuente: (Breazeal C. , 2000)

Cada emoción tiene una expresión correspondiente que se exhibe cuando surge la emoción. Breazeal (2002) centra su estudio sobre el papel comunicativo de las emociones y cómo mejorar las relaciones humano-robot. El papel del sistema emocional es influir en el sistema cognitivo para promover la toma de decisión adecuada y flexible, además de comunicar los estados internos del robot.

Varias unidades influyen en la selección de comportamiento al dar prioridad de activación para algunos comportamientos sobre otros. La característica principal de las unidades es su comportamiento temporal cíclico, es decir, una unidad de tenderá a aumentar en intensidad a menos que se saciado. Por otra parte, las unidades tienen un carácter homeostático: sus intensidades deben estar dentro de una gama limitada, el régimen homeostático. Los cambios en la intensidad de una unidad

refleja la necesidad de un robot en curso y la urgencia de saciar ella (Breazeal, Buchsbaum, Gray, & Gatén, 2005).

El sistema de comportamiento está organizado en una jerarquía de capas de grupos de comportamiento. Cada grupo contiene comportamientos que compiten por la activación de uno con el otro (la relevancia de la conducta está determinada por factores de percepción y los factores internos) (Breazeal, Buchsbaum, Gray, & Gatén, 2005). El nivel más alto es el responsable de mantener las funciones homeostáticas. Aquí, la influencia de las unidades del robot es muy fuerte y esto motiva el robot a entrar en contacto con el estímulo de la necesidad más urgente.

En este modelo, el comportamiento activo también influye en el estado afectivo, y viceversa. Por ejemplo, el éxito en el logro de la meta de comportamiento es una condición antecedente para provocar felicidad (González, 2012).

Cynthia Breazeal (2004) presentó el primer robot social Kismet, dotado de un sistema de motivación con las emociones e impulsos basado en su modelo. Más tarde, el sistema también se llevó a cabo en el robot Leonardo, ver Figura 17.



Figura 17 Robots de Cynthia Breazel

a)Kismet, b) Leonardo

Fuente: (Nova, 2015) (Bosker, 2012)

2.1.2.5. Otras Arquitecturas

2.1.2.5.1. El enfoque de Blumberg

Blumberg (1996) presenta una arquitectura de control de robots que combina el aprendizaje con la selección de la acción. Cada criatura virtual está dotada de variables internas motivacionales, las cuales son utilizadas para modelar el estado interno del ente cibernético. El agente aprende los comportamientos existentes que conducen al cumplimiento de un objetivo motivacional. Entonces, el Sistema de Comportamiento coordina las conductas de alto nivel disponibles en un entorno potencialmente impredecible. Cabe recalcar que no hay aprendizaje centralizado, es decir los comportamientos para cada variable interna de motivación se aprenden por separado.

2.1.2.5.2. Tarea de Camarero

Una curiosa aplicación del control emocional en los robots es la obra presentada por Murphy. En este trabajo, un equipo de dos robots heterogéneos realiza conjuntamente la labor de ser camareros. Los dos robots constan de un Generador de Estados de Comportamiento (GEC), un módulo de selección de acción, y un generador de Estado Emocional (GEE).

Un robot es el camarero-que sirve alimentos a los comensales- y el otro es el encargado de llenar nuevamente los vasos de bebidas si el cliente lo solicita, como los que se muestran en la Figura 18 (Murphy, Lisetti, & Tardif, 2002). El controlador para ambos robots se implementa a manera de script. Ambos reciben como entradas el progreso de la tarea y la solicitud de llenado de bebida.



Figura 18 Robots Meseros

a) Camarero, b) Re-abastecedor de agua

Fuente: (Paniagua, 2015)

Los autores Murphy, Lisetti y Tardif (2002) han definido cuatro emociones (feliz, seguro, preocupado, y frustrado) basadas en las variables dependientes ETT - time til empty - o tiempo de vaciado correspondiente al robot camarero y TTR - time to refill- o el tiempo que requiere el segundo robot para recargar la bebida. Cada emoción tiene pre-programada una secuencia de acción correspondiente. Por ejemplo si la emoción es preocupado, el camarero envía la petición de "prisa" para el robot que provee nuevamente la bebida, y éste intenta moverse a su velocidad máxima. Por lo tanto, la influencia de la emoción se realiza en dos niveles diferentes: la emoción del camarero altera la selección de la acción, y la emoción del robot de reabastecimiento de bebida afecta el nivel sensorio-motor.

2.1.2.5.3. Sistema emocional basado en el color de camisetas

En este sistema el robot, ver la Figura 19, en primer lugar debe detectar un rostro humano, luego el estado emocional varía en función del color de la camisa que usa la persona, una vez detectada la emoción se ejecuta la reacción programada en el robot. Esta reacción se compone de movimientos breves, diciendo una oración, o reproducir un sonido (Hollinger, 2006).



Figura 19 Robot motivado por colores de camisas

Fuente: (Hollinger, 2006)

El espacio afectivo para determinar emociones artificiales se basan en la escala de Mehrabian PAD, donde los ejes representan el placer, la excitación y la dominación. Así, en este trabajo, nueve emociones se asignan en este espacio tridimensional. En este enfoque, los liberadores emocionales están relacionados con diferentes camisetas de colores, y cada color tiene una cierta coordenada de la escala de PA (Hollinger, 2006). Los valores (P, A, D) para cada emoción definen la oración a decir, los sonidos a entonar, y los parámetros del controlador (la velocidad máxima y mínima, distancias mínimas, amplitud y duración de meneo, y otras constantes). El esquema del sistema emocional se muestra en la Figura 20.

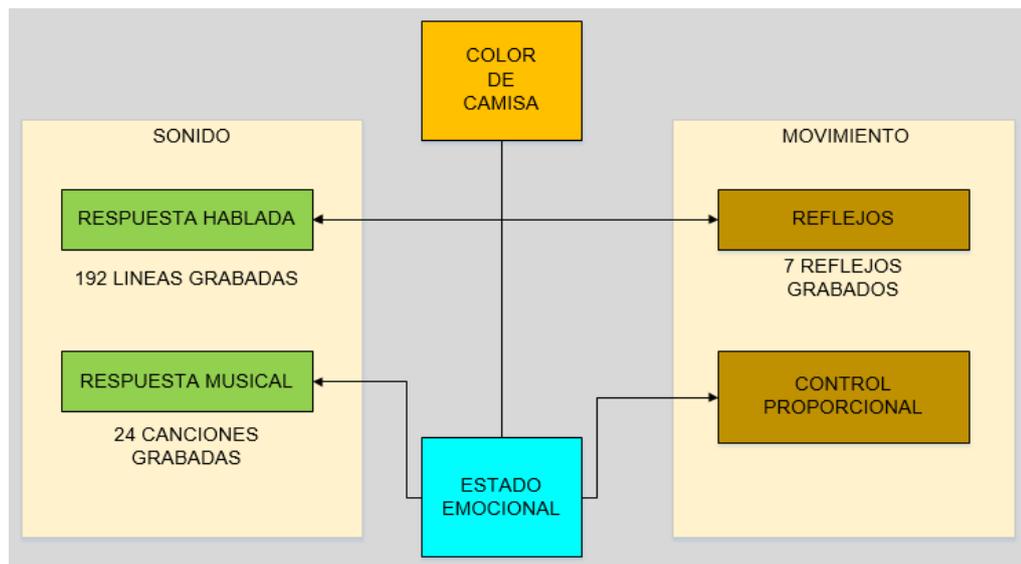


Figura 20 Sistema emocional basado en el color de camisas

Fuente: (Hollinger, 2006)

El sistema fue probado en un entorno lleno de gente y, durante los experimentos, las personas interactuaron más tiempo cuando el robot exhibió comportamientos tristes o felices que cuando estaba enojado.

2.1.2.5.4. *Un enfoque multi-agente de emociones*

En este trabajo el robot está constituido por múltiples agentes, éstos interactúan entre sí para producir un conjunto de emociones emergentes, basado en las incitaciones externas que el robot percibe. Estos agentes estimulan o suprimen otras emociones cada cierto tiempo para así terminar en un control emocional total que rige el comportamiento del robot (Nair, Godfrey, & Kim, 2011).

Un punto interesante es que la adrenalina se utiliza como fuente de inspiración para la velocidad a la que se toman muestras de los sensores. Esta metáfora de la adrenalina se determina por el estado de ánimo del robot que es generado por la magnitud de cada emoción. Si el estado de ánimo se cae, el sistema comienza a muestrear a ritmo acelerado como un intento de mejorar su condición. Cuanto mayor sea el estado de ánimo, menor es la frecuencia de muestreo (Nair, Godfrey, & Kim, 2011).

El sistema se implementa en un robot Lego NXT donde tres emociones- felicidad, miedo, ira- controlan su movimiento a lo largo de un camino; cada una de ellas se determina por los estímulos percibidos por sensores específicos, como por ejemplo: si el robot detecta un gradiente de intensidad de la luz cada vez mayor, se alegra; el miedo se detecta cuando algo se acerca mucho, y la ira se fomenta cuando el nivel de sonido excede un umbral (Nair, Godfrey, & Kim, 2011). Las recompensas y sanciones son simuladas. La velocidad del robot se modula sobre la base del estado de ánimo, por lo que es proporcional a la velocidad de muestreo.

2.1.2.5.5. *Emociones Fuzzyfied*

Kowalczyk y Czubenko (2011) proponen utilizar modelos de la psicología de los seres vivos para la adaptación de los robots autónomos con el medio ambiente. Ellos están más preocupados por la interacción del robot y su entorno, donde los seres humanos pueden ser parte de ella también, en lugar de centrarse en la interacción humano-robot como los demás. En su artículo, los robots están dotados de un conjunto de necesidades y estos están influenciados por varias emociones. Entonces, las emociones se utilizan para modelar el sentido de la satisfacción de las necesidades.

El uso de métodos difusos, cada necesidad resultados en tres estados posibles etiquetados como satisfacción, pre alarma y alarma. Emociones son algunos estados de la mente, que modifican el sistema de las necesidades y reacciones. La emoción clásica se reduce a una sola variable, y se descompone en siete conjuntos difusos, lo que representa cada uno de ellos una sola emoción difusa (Figura 21). Estas emociones difusas están etiquetadas como el miedo, la ira, la tristeza, la indiferencia, la felicidad, la curiosidad y la alegría sólo para diferenciarlas. También emociones son modulados por "impresiones" relacionados con los objetos externos (esto se conoce como "sub-emociones" por los autores). Además, el concepto de estado de ánimo también se aplica en este trabajo. En este caso, su valor está formado por la emoción clásica y modera los parámetros de miembros difusos de las necesidades.

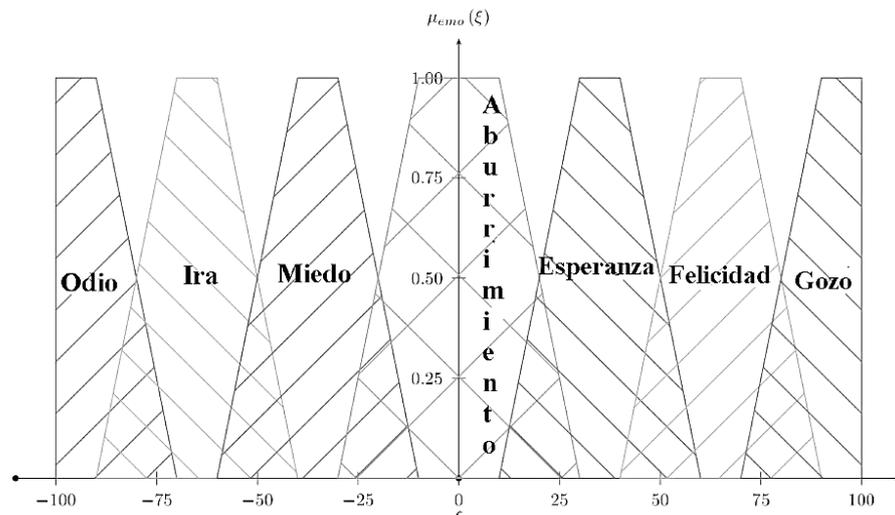


Figura 21 Modelo Fuzzy de las Emociones

Fuente: (Kowalczuk & Czubenko, 2011)

La decisión sobre la reacción se hace por un criterio combinado entre el nivel de satisfacción máximo de las necesidades y el nivel de dificultad mínimo (en relación con los umbrales de alarma y pre-alarma). La influencia de las reacciones en las necesidades está predefinida. Utilizando una red difusa-neural, cada reacción se calcula mediante la realización de una estimación simulada de los efectos de su aplicación (Kowalczuk & Czubenko, 2011).

Este sistema ha sido probado en la simulación y una versión simplificada, con base únicamente en las necesidades, se ha implementado en una plataforma móvil de laboratorio en un entorno fácil (González, 2012). Autores afirman que el robot actúa como un bebé que satisface sus necesidades.

2.2. Interacción humano-máquina

2.2.2. Contexto General

La interacción entre humanos y computadoras (Human Computer Interaction – HCI) es una disciplina que involucra el diseño, evaluación e implementación de

sistemas de cómputo interactivos para el uso humano así como los fenómenos alrededor de estos (Hewett, 1992).

En la actualidad, las nuevas técnicas desarrolladas para interacciones entre robots y humanos se centran en la utilización de algoritmos y métodos que permiten al usuario comunicarse y, por tanto, relacionarse con los robots de forma similar a como lo hacen los humanos. (Burgos Cid, 2014)

Para obtener una interacción más real y más creíble, los sistemas de IHR deben ser capaces de responder apropiadamente a los usuarios por medio de reacciones afectivas (Zeng, Pantic, & Huang, 2008), pero también reconocer el estado emocional del usuario y actuar en consecuencia.

Dentro de una interacción entre un humano y un robot, los sistemas de reconocimiento de emociones hacen uso del lenguaje natural para extraer información del estado emocional del interlocutor. Las técnicas de reconocimiento están conformadas por sistemas basados en voz, en expresiones faciales o en el análisis del lenguaje corporal.

- Voz humana, uno de los medios más eficientes para la transmisión de ideas, emociones o interacciones dentro del lenguaje natural. Usualmente se utiliza un sistema basado en la cuantificación de la energía en la señal de la voz para la adquisición de datos.
- Expresiones faciales, se define el conjunto de distorsiones musculares para expresar una idea o concepto. Se considera la fuente de información más completa y robusta. Juegan un rol clave en el intercambio de información entre el humano y la máquina.
- Lenguaje Corporal, su reconocimiento es similar al de expresiones faciales, sin embargo, resulta mucho más complejo debido a que existe mayor cantidad de información a procesar.

2.2.3. Origen de la Interacción Humano-Robot (HRI)

A lo largo del tiempo la Interacción humano–robot ha sido un tema de ciencia ficción que ha generado gran especulación académica incluso antes de que existieran los robots. El origen de la HRI como un problema discreto fue indicado por el autor del siglo XX Isaac Asimov en 1950, en su novela Yo, Robot que se presenta en la Figura 22.

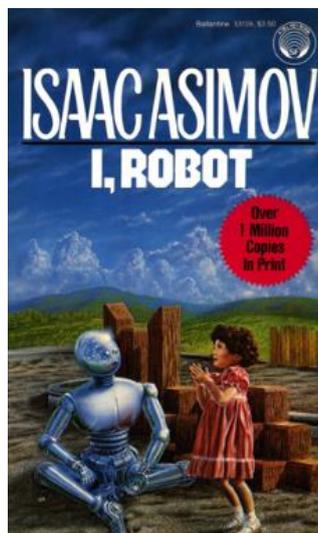


Figura 22 Libro Yo, Robot

Fuente: (Kay, 2012)

El literario Isaac Asimov además en otra de sus obras llamada Runaround de 1941 define las tres leyes de la robótica que son vigentes hasta nuestros días, estas son:

- Un robot no puede dañar a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano resulte dañado.
- Un robot debe obedecer cualquier orden dada por los seres humanos, excepto donde tales órdenes entraría en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, mientras dicha protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

El objetivo de la investigación HRI es definir los modelos de las expectativas de los seres humanos respecto a su interacción con un robot. La robótica moderna

busca desarrollar un lenguaje algorítmico que permita crear una comunicación natural y eficaz entre los seres humanos y robots; con este propósito, numerosos estudios se desarrollan basados fundamentalmente en la tele-operación de sistemas robóticos, involucrando desde pequeños robots móviles hasta vehículos no tripulados, incluyendo humanoides (Cuéllar, 2013).

2.2.4. Apariencia del robot social y sus efectos en la percepción humana durante la interacción

La percepción es un proceso mental mediante el cual, los seres humanos, obtenemos datos del exterior y los organizamos de un modo significativo en nuestro interior, para tomar conciencia del mundo que nos rodea (Papalia, 1994). La Interacción hombre-robot se encuentra íntimamente relacionada con la percepción humana, es decir, si una persona mira al robot y éste no es agradable ante su percepción, no habrá interacción. Por lo mencionado anteriormente el diseño de un robot debe contemplar cada uno de los parámetros que le permitirán ser aceptado en su entorno de trabajo.

El requisito primordial, si se habla de un robot social, es la apariencia. Es importante notar que en el mundo moderno, los entes cibernéticos se parecen cada día más a nosotros, los humanos, en cuerpo y "alma" -o programación para ser más exactos- y eso puede dar escalofríos a más de uno. A este efecto de "desagrado" se le conoce como la "teoría del valle inquietante" y busca describir cómo reaccionan emocionalmente los humanos ante la presencia de robots y otras máquinas (Cuen, 2011).

Cuando el ingeniero empieza a "humanizar" sus robots, con el fin de materializar el sistema lo más perfecto posible; debe recordar evitar aquel campo emocional denominado Valle Inquietante, el cual afecta negativamente la interacción directa entre el humano y el diseño.

La teoría del valle inquietante detalla el rechazo generado en las personas por robots o animaciones con un alto parecido a los seres humanos. En el año 1970, el profesor Masahiro Mori del Instituto Tecnológico de Tokio describió el fenómeno con la gráfica de la Figura 23, que enfrenta el grado de similitud a lo humano y la empatía o familiaridad (Delgado, Lima, & Encalada, 2015).

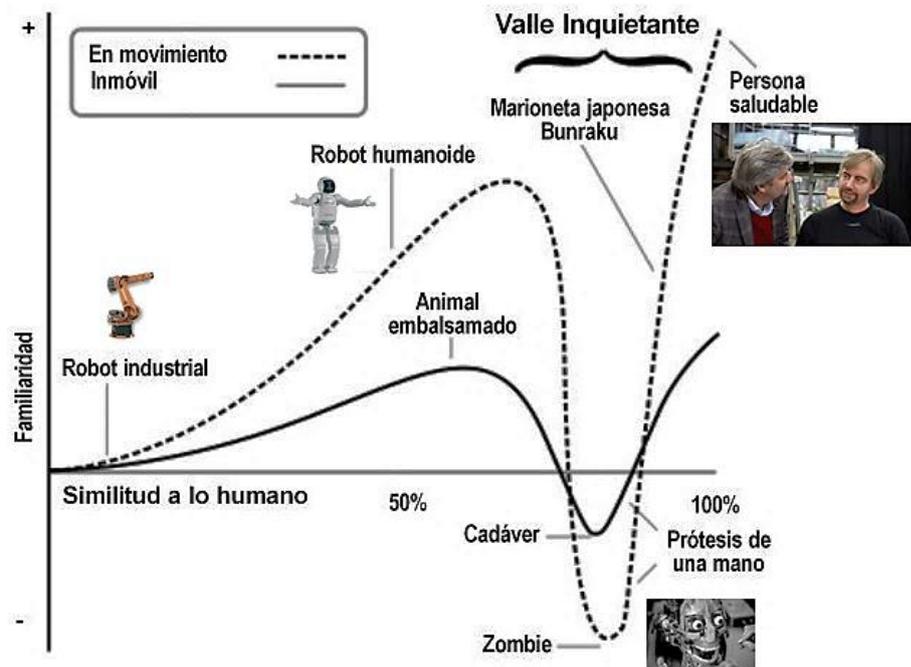


Figura 23 Valle inquietante de Mori

Fuente: (Carletti, 2012)

La teoría se puede sintetizar como sigue: En la medida en la que los robots se van pareciendo cada vez más a los humanos, éstos sienten un agrado cada vez mayor hacia ellos; pero alcanzado el punto en el que el parecido físico es muy fuerte más sin embargo funciones como caminar, gesticular y hablar son aún de máquina, ese agrado se convierte en repulsión; pero cuando el robot es idéntico al humano, la aceptación reaparece (Carletti, 2012). El "valle inquietante", entonces, describe ese momento o brecha entre la aceptación y la repulsión.

La hipótesis -elaborada por Masahiro Mori- ha sido objeto de una fuerte controversia en la comunidad de robótica. Investigadores internacionales encabezados por la Universidad de California, en San Diego, decidieron investigar

el cerebro de personas cuando observan a robots, a fin de comprobar si la hipótesis tiene bases científicas (Cuen, 2011). El estudio -que se llevó a cabo con 36 personas sin contacto con robots- mostró a los participantes imágenes de humanos, robots humanoides y robots sin forma humana. Los resultados de la actividad cerebral se muestran en la Figura 24.

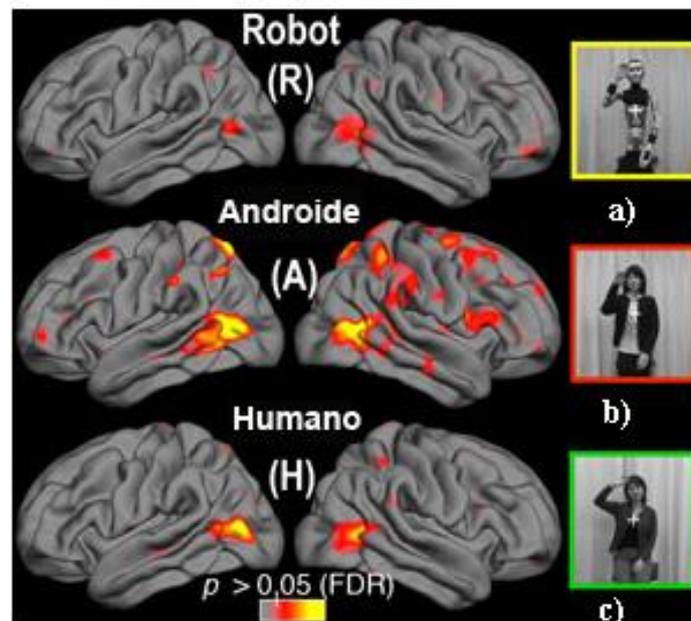


Figura 24 Respuesta cerebral ante interacción:

a) Robots, b)Humanoide, c)Humano

Fuente: Imagen cortesía de Ayse Pinar Saygin para la BBC

Los resultados mostraron que en efecto el cerebro reaccionaba en forma diferente ante el humanoide entonces los investigadores pudieron comprobar que el "valle inquietante" no es otra cosa que una reacción lógica de la mente humana ante una imagen que no se corresponde con su conocimiento (Cuen, 2011).

Los robots humanoides se ven como personas pero se mueven como máquinas, lo que provoca desconcierto en el cerebro (Carletti, 2012). Actualmente los robots humanoides no son muchos. En el mercado tecnológico sólo el 10% son robots de servicio y de ellos sólo el 3% tiene figura humana. A futuro la Federación Internacional de Robótica estima que el mercado global de estos bienes alcanzará US\$100.000 millones en 2018. Entonces la meta de científicos dedicados a

al diseño y fabricación de robots humanoides es crear éstos "tan perfectos" que nuestro cerebro los acepte (Cuen, 2011).

2.3. Robots caricaturescos

2.3.1. Visión General

Un robot caricatura es un robot no humanoide que puede mostrar movimientos y emociones humanas simplificadas en forma exagerada. Para entender mejor las principales características de un robot caricatura vamos a hablar de MusicMouth (Figura 25)



Figura 25 MusicMouthe

Fuente: (Jia Zhou, Gavriel Salvendy)

La función básica de esta robot caricatura es la de hablar. Elementos simples se ha adherido a este robot, movimientos altos y bajos para la boca y movimientos de lado a lado para la boca. La ventaja de los robots caricaturas a diferencia de los humanoides, es que el usuario puede crear sus propios movimientos, causando un gusto especial y diferente en las personas.

Los robots caricatura se definen por tres elementos: funcionalidad, simplicidad en movimiento y personalidad. Todo lo anterior con base en el principal objetivo de su robot, es decir, la funcionalidad para el que ha sido diseñado. Los robots caricatura representan una nueva opción en el ámbito del diseño de robots sociales. (Jia Zhou, Gavriel Salvendy)

2.3.2. *Diseño de robots caricaturescos*

Un robot caricaturesco desde el punto de vista de su diseño, es la materialización tridimensional de un dibujo animado. La animación como tal constituye la secuencia de movimientos condicionados del robot ante un estímulo. El diseño de un robot caricatura contempla tres componentes básicos los cuales son los siguientes:

- Boceto o Caricatura
- Animación
- Materialización

2.3.2.1. *Boceto o Caricatura*

La caricatura ha sido desde el comienzo de la historia un tipo de representación exagerada de personajes o hechos con el fin de poder transmitir un mensaje, una idea, la mayoría de veces sarcástica sobre una cuestión determinada (Pelález Malagón, 2002).

Un robot social caricaturesco debe poseer los bocetos necesarios que justifiquen todos sus estados. Las representaciones de los estados deben ser simples y claras en la idea que se quiere transmitir, por ejemplo en la Figura 26 se muestran las emociones caricaturizadas. Cada caricatura forma parte del diseño 2D del robot, en lo que a su apariencia concierne.

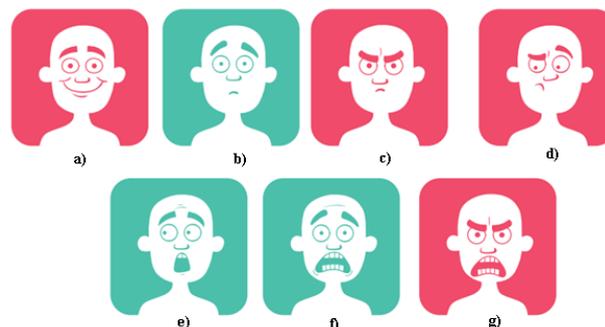


Figura 26 Emociones en caricatura

- a) Feliz, b) Triste, c) Enojado, d) Desprecio,
e) Sorpresa, f) Miedo, g) Ira**

2.3.2.2. Animación

Se define la animación como la transición de imágenes de forma secuencial que desarrollan un evento (Productora audiovisual Videocontent , 2015). Los primeros técnicos que trabajaron en la animación de imágenes fueron Willis O'Brien y Ray Harryhausen. Cabe destacar que el gran impulso de este arte viene de la mano de Disney.

Las técnicas de animación de entes caricaturescos pueden ser de carácter tradicional o en tres dimensiones, como se enuncia a continuación (Productora audiovisual Videocontent , 2015):

Técnicas tradicionales:

- Dibujos animados: constituye una de las técnicas más antiguas, se dibujan a mano los cuadros.
- Stop Motion: simulación de movimiento de objetos estáticos captando fotografías del mismo.
- Animación por recortes: se construye a partir de recortes de los propios personajes para generar movimiento.
- Pixelación: se da cuando existe un desplazamiento de objetos comunes.
- Rotoscopia: se trata de dibujar sobre imágenes reales.

Técnicas en 3D:

- Animación por vértice.
- Animación de esqueletos.
- Motion Capture: se trata de la grabación de movimientos reales traducidos a formato digital.
- Computer Visión: traducir movimientos del actor en tiempo real a carácter 3D.

2.3.2.3. *Construcción o materialización*

La simplicidad de apariencia de los robots caricaturas requiere la utilización de materiales que no se deformen al tacto es por ello que la gran mayoría de robots sociales caricaturescos son realizados en plástico como se pudo apreciar en las Figuras 8b y 10a.

2.4. **Tele-operación**

La tele-operación se refiere a la operación a distancia, donde el maestro está separado del esclavo una distancia considerable. El sistema tele-operado, está compuesto de una estación de tele-operación, un sistema de tele-operación y un esclavo. El robot esclavo es controlado a distancia por medio de un programa interno ubicado en la memoria de un sistema de procesamiento de datos. (Ceron Correa, 2012)

Inicialmente la tele-operación estaba dirigida para robots que realizaban tareas peligrosas, hoy en día no solo son considerados para la operación en sistemas peligrosos, este sistema es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones en todo el mundo. El campo de la aplicación de la tele-operación es bastante amplio, podemos ver robots tele-operados en aplicaciones como exploración, manipulación, medicina, entretenimiento y muchos otros (Martín Pala, Pala, Lorencik, & Sincak, 2012).

La tele-operación requiere que el ser humano este al pendiente del robot en un cien por ciento del tiempo. El humano es completamente responsable de todas las acciones del robot. La respuesta en tiempo real, puede hacer la tele-operación muy complicada, por lo que es necesario un canal de comunicación bastante amplio entre el humano y el robot. (Sun, 2006)

2.4.1. Historia de los sistemas de tele-operación

La tele-operación data del año 1940, su prioridad era desarrollar sistemas de control mecánico a distancia para la manipulación de materiales tóxicos para el ser humano o en ambientes peligrosos. El primer maestro-esclavo fue propuesto por R. Goertz a finales de los 40, un manipulador mecánico diseñado para operar el primer reactor nuclear. Básicamente estaba formado por alambres y cinturones con vista directa del operador al robot.

El segundo manipulador fue desarrollado en 1954 por el mismo R. Goertz, este fue el resultado de un trabajo de mejora para el modelo anterior. Fue el primer manipulador electromecánico con retroalimentación. Después de esto el desarrollo de la teleoperación fue rápido, abriendo campo a nuevas ramas y técnicas. (Pala, Lorencik , & Sincak, 2012)

2.4.2. Arquitecturas de teleoperación

En su publicación Iñaki Aliaga (Aliaga, 2000) menciona que las arquitecturas de teleoperación dependen básicamente de la información que se está transmitiendo entre el maestro y el esclavo y el tipo de sensorización. En función de los factores mencionados anteriormente se clasifica en: esquemas posición-posición, esquema fuerza-posición, esquema fuerza-fuerza, esquema de cuatro canales.

2.4.2.1. Esquema posición-posición

En este tipo de arquitectura no existe necesidad de sensores de fuerza, la posición del esclavo, está determinado por el master y viceversa. La posición del master es una referencia para el esclavo, mismo que intenta seguir el comportamiento mediante un controlador PD. En la Figura 27 a se observa el sistema de control para esta arquitectura.

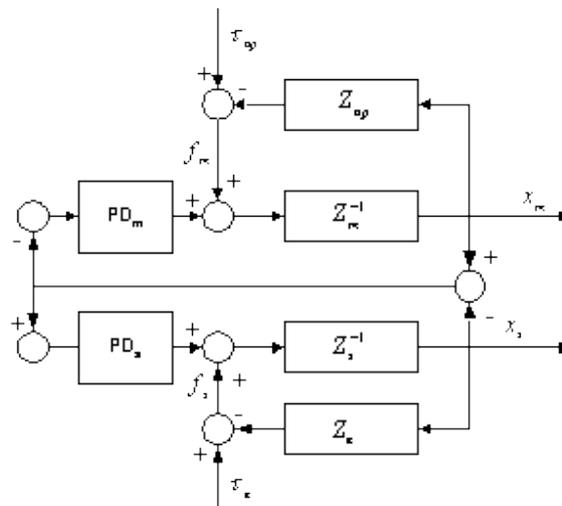


Figura 27 Diagrama de bloques del controlador Posición-posición

Fuente: (Aliaga, 2000)

2.4.2.2. Esquema fuerza-posición

La posición del esclavo depende del seguimiento del robot maestro y las fuerzas que aparecen sobre él se generan y se miden por el maestro por motores. Su estructura de control es muy similar a la de posición-posición con la diferencia que en este tipo de arquitectura aparecen las fuerzas representadas por una ganancia k . En la Figura 28 se observa el sistema de control para esta arquitectura.

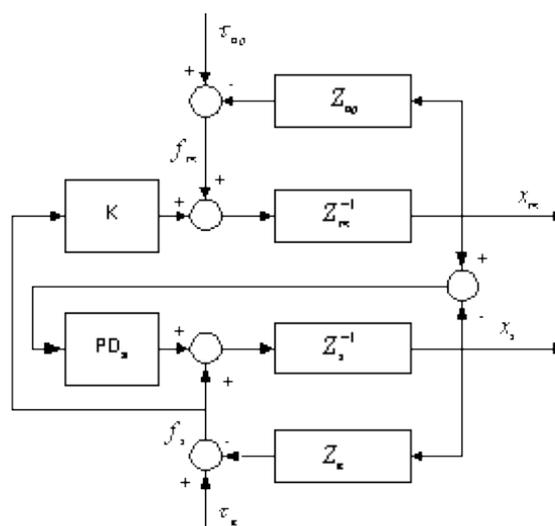


Figura 28 Diagrama del bloques del controlador fuerza-posición

Fuente: (Aliaga, 2000)

2.4.2.3. Esquema fuerza-fuerza

Las trayectorias tanto del maestro como del esclavo dependen de la lectura de las fuerzas, dicha fuerza permite determinar la trayectoria para el robot y los controladores. Existen diferentes esquemas de esta arquitectura, estos dependen de la forma en que la fuerza ejercida genera la trayectoria. En la Figura 29 se observa el sistema de control para esta arquitectura.

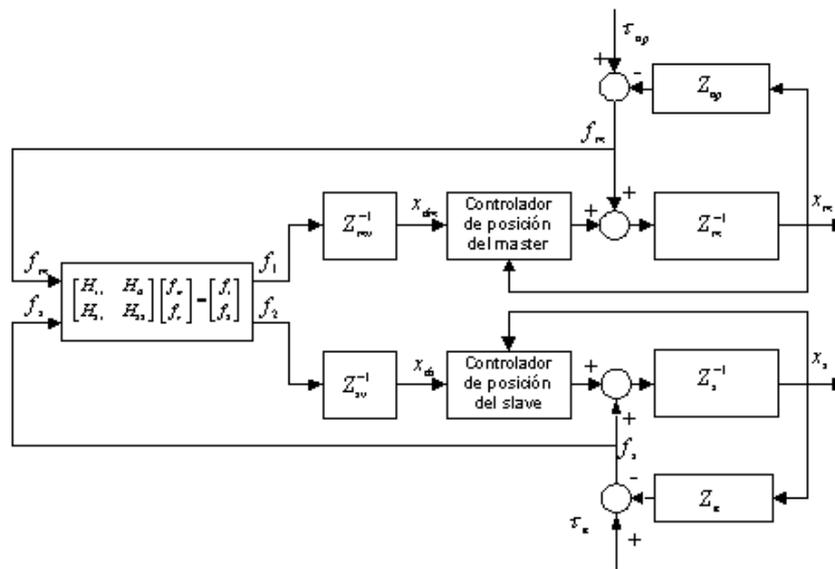


Figura 29 Diagrama del bloques del controlador fuerza-fuerza

Fuente: (Aliaga, 2000)

2.4.2.4. Esquema de Cuatro Canal

En este tipo de arquitectura existe un intercambio de información de las variables posición y fuerza. Es la arquitectura más general que puede agrupar a las tres anteriores como casos particulares. Su nombre se debe a sus cuatro entradas (dos de posición y dos de fuerza) de intercambio de información del maestro y el esclavo. El flujo de información se puede observación en el esquema de la Figura 30.

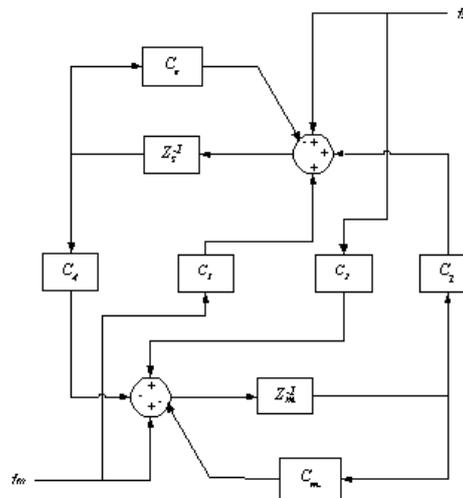


Figura 30 Esquema de cuatro canales

Fuente: (Aliaga, 2000)

2.4.3. Aplicaciones de la tele-operación

Inicialmente la tele-operación estaba dirigida para robots que realizaban tareas peligrosas, hoy en día no solo son considerados para la operación en sistemas peligrosos, este sistema es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones en todo el mundo. El campo de la aplicación de la tele-operación es bastante amplio, podemos ver robots tele-operados en aplicaciones como exploración, manipulación, medicina, entretenimiento y muchos otros. (Martin Pala, Pala, Lorencik, & Sincak, 2012)

2.4.3.1. Manejo de materiales peligrosos

El primer sistema tele-operado, como ya se ha mencionado anteriormente, se diseñó para actividades nucleares como: limpieza de instalaciones nucleares, desmantelamiento nuclear, mantenimiento nuclear, entre otros. (Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su, 2015) La tele-operación permitió la manipulación de materiales en ambientes radioactivos. Una aplicación nuclear reciente se observa en la Figura 31, su nombre es JET (Joint European Torus) (EUROfusion, 2014)

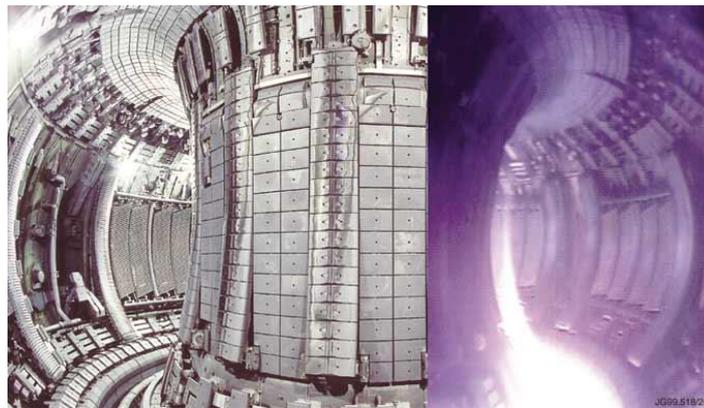


Figura 31 Joint European Torus

Fuente: (EUROfusion, 2014)

2.4.3.2. Tele cirugía

La tele cirugía es una muestra de la aplicación de la tele-operación en la medicina, aplicación que ha permitido ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo para el cirujano, quien solo necesita mover las yemas de sus dedos. Comercialmente existen dos sistemas con estas características Zeus de Computer Motion y el sistema da Vinci del instituto quirúrgico. El sistema da Vinci ha sido utilizado para realizar cirugías con el mínimo rastro. El sistema es mostrado en la Figura 32



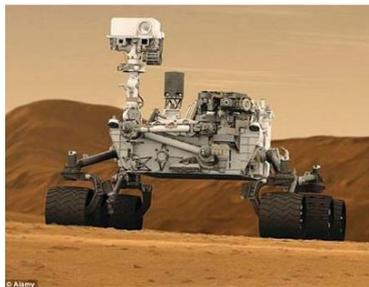
Figura 32 Sistema Quirúrgico da Vinci

Fuente: (Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su, 2015)

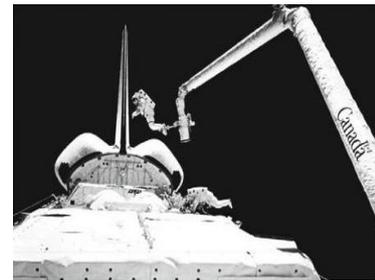
2.4.3.3. Tele-operación en el espacio

Existe una amplia gama de aplicaciones de los sistemas tele-operados en el espacio, basándose en las tareas que los mismos deben realizar se los ha clasificado en los siguientes grupos:

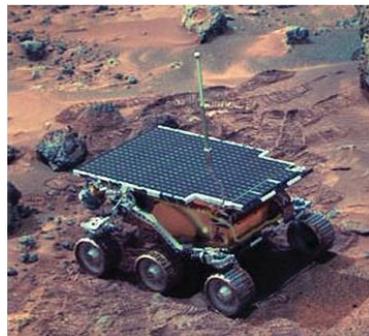
- Robots de exploración espacial, robots necesarios para la exploración en planetas. Algunos de estos modelos se pueden observar en la Figura 33.



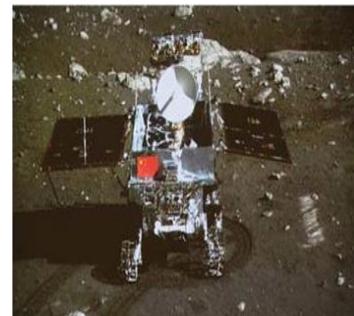
a) Explorador de Marte de la NASA



b) Brazo de Canadá



c) Robot extranjero de la NASA



d) Robot lunar de China

Figura 33 Robots de exploración espacial

Fuente: (Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su, 2015)

- Robot manipulador espacial para interiores, existen muy pocos robots construidos en esta categoría. Uno de ellos es ETS-VII2 mostrado en la Figura 34.

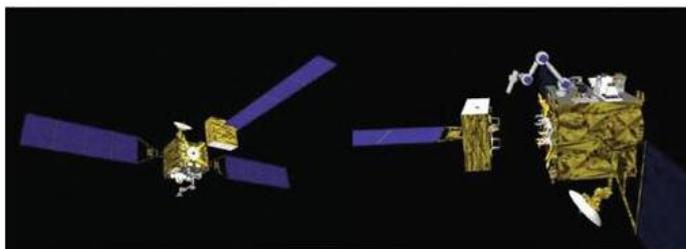


Figura 34 Satélite ETS-VII2

Fuente: (Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su, 2015)

2.4.3.4. Vehículos bajo el agua

La operación de dispositivos bajo el agua es una de las aplicaciones más importantes donde las técnicas de tele-operación tienen una gran aceptación. Esta aplicación ha sido de gran importancia ya que ha permitido obtener gran cantidad de información gracias a las diversas exploraciones que se han podido realizar en el océano. Algunos de los robots que se encuentran dentro de esta categoría se observan en la Figura 35.



a) RUGGED BASE ROV



b) Doc Ricketts



c) Quianlong-1

Figura 35 Robots acuáticos

Fuente: (Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su, 2015)

2.4.3.5. Otras aplicaciones

Otras aplicaciones de la tele-operación incluyen el campo militar y seguridad. En el campo militar se usan robots tele-operados para tareas de reconocimiento, compensación de ruta, detección de minas, entre otros. Por otro lado, en el campo de la seguridad se han podido ver robots de vigilancia.

2.5. Visión artificial

La visión artificial o visión por computadora es la transformación de los datos obtenidos mediante una cámara para tomar una decisión o algún tipo de representación. El computador recibe una cuadrícula de números proporcionando la información necesaria para realizar una tarea específica.

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. (Gary Bradski, 2008)

Resumen

En este capítulo se ha definido al robot social como el ente cibernético que interactúa y se comunica con las personas (de forma sencilla y agradable) siguiendo comportamientos, patrones y normas sociales. Los robots sociales se clasifican en cuatro categorías las cuales son: Socialmente evocadora, Interfaces sociales, Socialmente receptivos y Sociables. La manera en que un robot social toma decisiones está íntimamente ligada a su arquitectura de control. Las arquitecturas que cumplen de mejor manera el objetivo de expresar el estado afectivo cuando los robots interactúan con los seres humanos son la arquitectura de Cathexis, el enfoque de Cañamero, la arquitectura ALEC y el modelo Breazeal.

En la actualidad, las nuevas técnicas desarrolladas para interacciones entre robots y humanos se centran en la utilización de algoritmos y métodos que permiten al usuario comunicarse y, por tanto, relacionarse con los robots de forma similar a como lo hacen los humanos. El origen de la HRI (Human Robot Interaction) como un problema discreto fue indicado por el autor del siglo XX Isaac Asimov en 1950, en su novela *Yo, Robot*. El literario además en otra de sus obras llamada *Runaround* de 1941 define las tres leyes de la robótica que son vigentes hasta nuestros días.

La Interacción hombre-robot se encuentra íntimamente relacionada con la percepción humana, es decir, si una persona mira al robot y éste no es agradable ante su percepción, no habrá interacción. Por lo mencionado anteriormente el diseño de un robot debe contemplar cada uno de los parámetros que le permitirán ser aceptado en su entorno de trabajo. Cuando el ingeniero empieza a “humanizar” sus robots, con el fin de materializar el sistema lo más perfecto posible; debe recordar evitar aquel campo emocional denominado Valle Inquietante, la teoría advierte que en la medida en la que los robots se van pareciendo cada vez más a los humanos, éstos sienten un agrado cada vez mayor hacia ellos; pero alcanzado el punto en el que el parecido físico es muy fuerte más sin embargo funciones como caminar, gesticular y hablar son aún de máquina, ese agrado se convierte en repulsión; pero cuando el robot es idéntico al humano, la aceptación reaparece.

Para evitar estos problemas de la humanización actualmente encontramos los llamados robots caricaturas, que son robots con gestos muy parecidos al del ser humano, sin embargo su forma no definida permite la creación de nuevas expresiones que pueden generar un nuevo ambiente en los seres humanos.

La tele-operación es un método que consta de tres componentes principales, la estación remota, el sistema de tele-operación y el esclavo. Este método permita la manipulación del robot en base al análisis del entorno observada a través de un sistema computacional permitiendo de esta manera manipular al robot en base a la situación en la que se encuentra. Existen cuatro arquitecturas de tele-operación todas ellas dependientes del tipo de interacción entre el maestro y el esclavo, entre ellas

estas posición-posición, fuerza-posición, fuerza-fuerza y arquitectura de cuatro canales.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL ROBOT

Este capítulo pretende dar a conocer el diseño mecatrónico del robot social para interacción hombre-máquina. La metodología del diseño sigue cinco etapas consecutivas: desarrollo de conceptos, diseño en el nivel sistema, diseño de detalle, pruebas y refinamiento culminando con el inicio de la construcción. En la primera etapa se identifican los requerimientos o necesidades del usuario y se establecen las especificaciones objetivo. Luego el diseño a nivel sistema incluye la descomposición del robot en subsistemas y componentes junto con las especificaciones funcionales de los mismos. El diseño de detalle presenta la especificación completa de la geometría y los materiales. Las pruebas y refinamiento de los conceptos comprenden la evaluación de versiones múltiples de los mismos mediante herramientas de simulación.

3.1. Metodología de diseño

La metodología empleada para el presente proyecto se fundamenta en el diseño concurrente de productos (Ulrich & Eppinger, 2013).

3.1.1. Identificación de necesidades

Definir las necesidades, cerciora que el producto final del proyecto se enfoque en dichos parámetros, además de proporcionar una base de datos que justifique las especificaciones del mismo. En conclusión, conocer las necesidades permite a los diseñadores estar seguros de que no se olvide o excluya alguna necesidad crítica del cliente o usuario.

Ulrich y Eppinger, en su libro “Diseño y desarrollo de productos” presentan un método de 5 pasos para definir las necesidades del cliente, los cuales son:

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.
2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.
3. Organizar las necesidades en jerarquías.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades
5. Reflexionar en los resultados.

Los diseñadores, en primer lugar abordaremos los pasos 1 y 2 en la Tabla 1 y los 3 puntos siguientes se evidenciarán en una matriz QFD que se visualiza en el anexo 1.

Tabla 1

Identificación de necesidades

Enunciado del cliente	Necesidad Interpretada
El robot debe poder ver rostros.	El robot detecta rostros.
El robot debe hablar	El robot habla.
El robot debe ser expresivo, que se sepa que está feliz o enojado, etc.	La cara del robot expresa las emociones básicas.
El robot debe permitir control a distancia.	El robot es tele-operado.
El robot debe tener una forma y apariencia atractiva, no dar miedo, ni repulsión.	La apariencia del robot desde el punto de vista psicológico, está fuera del “valle inquietante”.
La estructura tiene que ser robusta.	El robot tiene estructura robusta.
El movimiento del robot no debe ser brusco, debe ser suave y sin vibraciones parásitas.	Los grados de libertad de la estructura del robot tienen facilidad de movimiento.
La ventana de control y mando de la tele-operación debe ser fácil de usar y debe tener buena presencia.	El robot cuenta con una interfaz gráfica de control, clara y simple.
El costo de elaboración debe ser lo más bajo posible sin disminuir su calidad.	El robot es de alta calidad y bajo costo.

Para un desarrollo óptimo de la matriz QFD es necesario que después de haber interpretado las necesidades del cliente (Qué’s), se proceda a realizar un

despliegue de las alternativas de solución (Cómo's), tal como se muestra a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Qué's y Cómo's para matriz QFD

QUÉ'S	CÓMO'S
Detección de rostros	<ul style="list-style-type: none"> • Visión artificial
Hablar	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo sintetizador de voz
Expresar emociones	<ul style="list-style-type: none"> • Buen diseño mecánico • Sincronización motores • Estética • Grados de libertad
Tele-operación	<ul style="list-style-type: none"> • Control a distancia • Programación • Selección de elementos electrónicos de control
Apariencia fuera del valle inquietante	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño estético
Estructura robusta	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de material • Modularidad • Diseño de la estructura • Sistemas de transmisión • Sistemas de sujeción
Facilidad de movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Grados de libertad • Buen diseño mecánico • Sistemas de transmisión
Interfaz fácil de usar	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la interfaz
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de material • Buen diseño mecánico • Diseño estético
Bajo costo	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético • Buen diseño mecánico • Selección de material

Una vez culminada la realización de la matriz QFD, se establece la importancia relativa de las necesidades mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3**Importancia relativa de las necesidades**

Necesidades	Importancia
Expresiones básicas	17%
Fácil Interfaz de usuario	14%
Apariencia	13%
Calidad	12%
Tele-operación	9%
Detección de rostros	7%
Hablar	7%
Bajo costo	7%
Robustez de estructura	7%
Facilidad de movimiento	6%

La necesidad más importante del diseño es la capacidad que tiene el robot de expresar emociones básicas. En segundo lugar, el factor a ser considerado es la creación de una interfaz gráfica ergonómica para el usuario. Como tercera consideración el robot tiene que poseer una buena apariencia. Las necesidades de detectar rostros, hablar, robustez estructural, bajo costo y facilidad de movimiento comparten un mismo nivel de importancia luego de los tres factores fundamentales antes mencionados.

Las alternativas de solución a las necesidades del diseño se priorizan de la forma mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4**Importancia relativa de las alternativas de solución**

Alternativa de solución	Importancia
Selección de componentes mecánicos	9.4%
Sistema de transmisión de movimiento	9.1%
Diseño físico	9.1%
Diseño estético	9.0%
Selección de componentes electrónicos	8.6%
Sincronización de movimientos	8.2%
Programación	8.1%
Grados de libertad	7.7%

continúa


Generación de voz	7.5%
Visión artificial	6.3%
Consumo energético	4.6%
Modularidad	4.4%
Diseño de interfaz de mando	4.0%
Modos de sujeción de elementos	3.9%

Se concluye que los puntos de importancia máxima a ser considerados en el diseño del robot son: la selección de componentes mecánicos, los sistemas de transmisión de movimiento junto con el diseño estético y físico. Los puntos importancia media constituyen la selección de componentes electrónicos, los grados de libertad de la estructura y la sincronización de movimientos de la misma junto con el algoritmo de programación. La visión artificial, la generación de voz, el consumo energético, la interfaz gráfica, los modos de sujeción de componentes y la modularidad del sistema constituyen puntos de baja importancia.

3.1.2. Definición de las especificaciones

Una vez conocidas las necesidades del diseño y la importancia relativa de éstas se procede a establecer los parámetros de diseño del robot. El ente cibernético cumplirá las especificaciones enunciadas a continuación:

- Plataforma de control: ROS (Robot Operating System)
- Espacio requerido: 50x50x100 cm
- Peso máximo: 25 Kg
- Grados de libertad: máximo 12
- Emociones expresadas: mínimo 4
- Voltaje requerido: máximo 12 voltios DC
- Tipo de generador de voz: Conversor de texto a voz
- Idioma de comunicación humano-robot: Español
- Atributos visibles en la interfaz gráfica: modos de tele-operación y herramientas de interacción.
- Diseño estético minimalista
- Producto de arquitectura modular

- Tendencia a trabajo en tiempo real.

3.1.3. Definición de la arquitectura modular del robot

La arquitectura de un producto es la asignación de los elementos funcionales a los elementos de construcción físicos del mismo (Ulrich & Eppinger, 2013). Una arquitectura modular es aquella en la cual los elementos físicos activan uno o pocos elementos funcionales. Esta arquitectura permitirá que un cambio de diseño a un determinado segmento del robot no influya en los demás componentes del mismo. Una vez conocidas las tareas a ser realizadas por el robot social, se definen los elementos funcionales los cuales han generado los módulos detallados en la Tabla 5.

Tabla 5

Arquitectura modular del robot social

Módulo	Sub-módulos	Funciones
Expresiones	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia • Ojos • Cejas • Boca • Cuello • Estructura interna 	<ul style="list-style-type: none"> • Expresar emociones
Eléctrico y electrónico	<ul style="list-style-type: none"> • Control de actuadores • Generación de movimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de actuadores del robot. • Generar el movimiento.
Tele-operación		<ul style="list-style-type: none"> • Permitir mando en tiempo real del robot. • Admitir el control del robot por medio de dispositivos periféricos.
Control		<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación y control de todos los módulos del robot.
Alimentación		<ul style="list-style-type: none"> • Suministrar energía

continúa
⇒

eléctrica	eléctrica a los componentes del robot.
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Detección y seguimiento de rostros
Conversación	<ul style="list-style-type: none"> • Hablar

3.1.4. Definición de conceptos o alternativas de diseño

A continuación se enunciarán las posibles alternativas de diseño para cada módulo del robot generado en el numeral anterior.

3.1.4.1. Módulo de Expresiones

El módulo expresiones está constituido por el conjunto de mecanismos, cuya función principal es transmitir adecuadamente las emociones del robot. Los sub-módulos que lo conforman son: apariencia, ojos, cejas, boca, cuello y estructura interna.

3.1.4.1.1. Sub-módulo Apariencia

Opción A: Apariencia humana

Su forma se ajusta a la de una persona.



Figura 36 Chirira robot humanoide Toshiba

Fuente: (Mailonline, 2015)

Opción B: Apariencia animal

Su apariencia es semejante a la de un animal.



Figura 37 Alan, androide en forma de gato de Hasbro

Fuente: (Redacciones 2001, 2016)

3.1.4.1.2. Sub-módulo Ojos

Opción A: Mecanismo de ojos animatrónicos de Marshall Tearle

Marshal Tearle es un profesional especializado en la animatrónica. Animatrónica (Cosio, 2011) es la técnica que simula el aspecto y comportamiento de los seres vivos mediante el uso de mecanismos robóticos o electrónicos. El mecanismo de ojos animatrónicos de Marshall (Tearle, 2015), consta de párpado superior e inferior y glóbulo ocular. Los párpados presentan movimiento de apertura y cierre impulsados por un mismo actuador, uno por cada par de párpados. Los glóbulos oculares suben, bajan y giran de derecha a izquierda, estos movimientos son realizados a la par por los dos ojos ya que son controlados por servo-motores compartidos, es decir, existe un actuador que controla el movimiento de subida y bajada y uno que provoca el giro de derecha a izquierda en el mecanismo. El esquema físico del sistema se aprecia en la Figura 38.

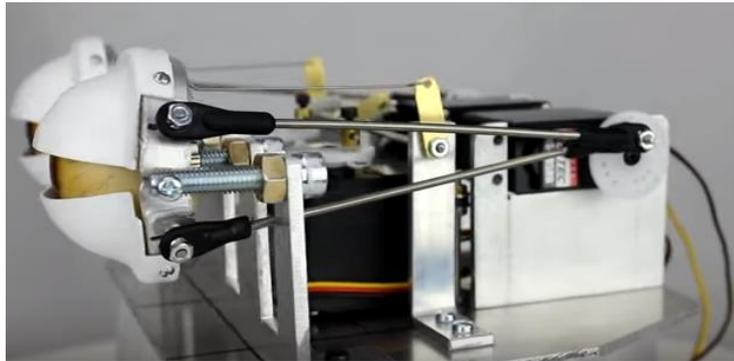


Figura 38 Mecanismo de ojos animatrónicos de Marshall Tearle

Fuente: (Tearle, 2015)

Opción B: Mecanismo de ojos animatrónicos de Fritz

Fritz es un títere animatrónico que está controlado por un micro controlador Arduino (Fritz, 2013). Fritz fue creado para generar una introducción económica y divertida a la robótica educativa. El mecanismo de ojos animatrónicos de Fritz consta de un globo ocular que sube, baja y gira de derecha a izquierda. Cada grado de libertad es independiente, es decir existen dos actuadores por ojo, cuatro en total en todo el sistema. El mecanismo puede ser apreciado en la Figura 39

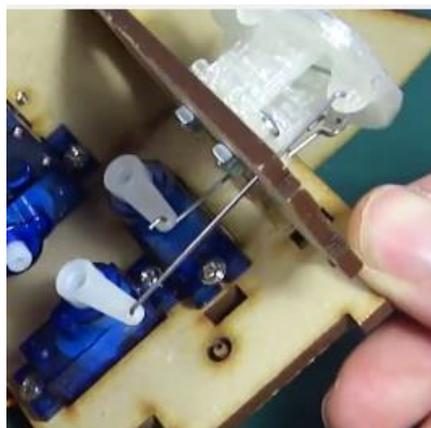


Figura 39 Mecanismo de ojos animatrónicos de Fritz

Fuente: (Fritz, 2013)

3.1.4.1.3. Sub-módulo Cejas

Opción A: Mecanismo de cejas con un motor

El mecanismo de cejas de un motor está formado por una ceja acoplada directamente al motor. El movimiento circular del motor le permite movimiento de adentro hacia afuera dependiendo de la ubicación del centro de giro en la ceja y el sentido de giro. El mecanismo descrito se puede observar en la Figura 40.

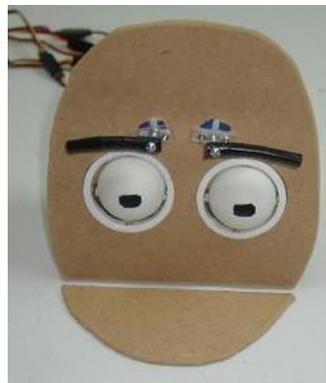


Figura 40 Mecanismo de
ceja con un motor

Fuente: (Pyroelectro, 2012)

Opción B: Mecanismo de cejas con dos motores

El mecanismo de cejas con dos motores está formado por una ceja de material flexible acoplada a un motor en cada uno de sus extremos. La combinación de movimientos de estos motores le da no solo un movimiento circular sino también ascendente y descendente. El mecanismo es ilustrado en la Figura 41

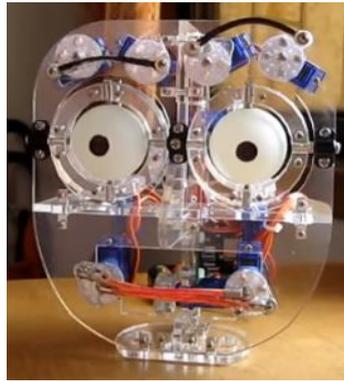


Figura 41 Mecanismo de ceja con dos motores

Fuente: (Cameron, 2012)

3.1.4.1.4. Sub-módulo Boca

Opción A: Mecanismo de boca de Blue Point Engineering and Voodoo FX

Este mecanismo está formado por dos placas, una fija superior y una inferior móvil unidas en un punto central que permite el movimiento de la placa inferior utiliza un servomotor ubicado en la parte superior, que usa una barra para transmitir el movimiento y transformarlo de circular a lineal como se muestre en la Figura 42. Su apariencia es muy semejante a las mandíbulas humanas.



Figura 42 Mecanismo boca de Blue Point Engineering

Fuente: (Blue Point Engineering, 2007)

Opción B: Mecanismo de boca de Icat Robot

Este mecanismo está formado por dos barras de material flexible unido en sus extremos a dos motores. El movimiento sincronizado de estos motores genera formas en las barras flexibles que le da diferentes formas a la boca del robot con se ilustra en la Figura 43.

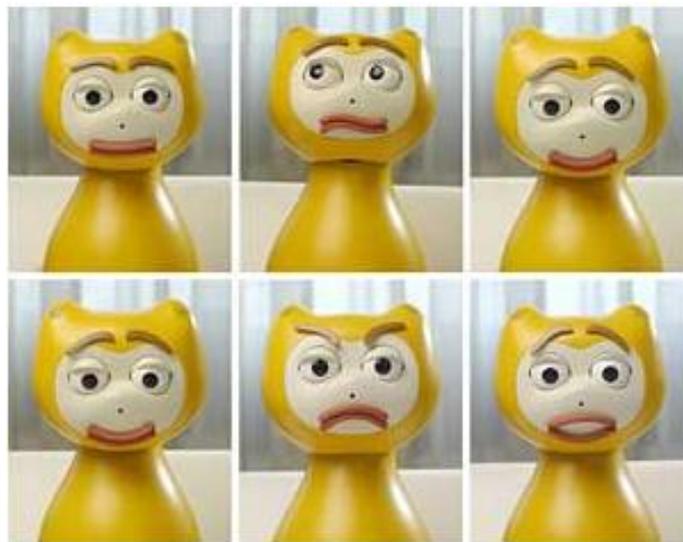


Figura 43 Mecanismo de boca de iCat

Fuente: (Philips, 2005)

3.1.4.1.5. Sub-módulo Cuello

Opción A: Mecanismo de cuello animatrónicos de Robotics Squared

El mecanismo Robotics Squared (Roboti Squared, 2012), está formado por una estructura metálica en donde están sujetos tres motores para proporcionar un movimiento rotacional con el eje X y Z y lineal con el eje Z. Es un mecanismo bastante robusto y proporciona movimientos ligeros. Su disposición se puede observar en la Figura 44.

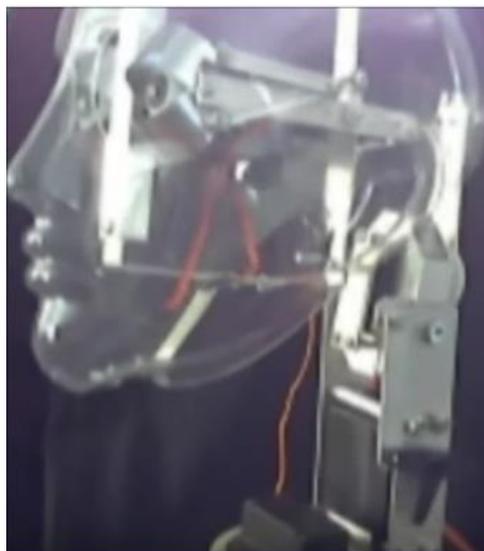


Figura 44 Mecanismo cuello animatrónico de Robotics Squared

Fuente: (Roboti Squared, 2012)

Opción B: Mecanismo cuello de Custom Entertainment Solutions Reel

Custom Entertainment desarrollo un mecanismo que se asemeja al cuello humano. Compuesto por tres servomotores colocados en la base del mecanismo y una base de aluminio naval. Este mecanismo utiliza palancas para la transmisión del movimiento desde la base hasta una placa en la parte superior donde será colocada la cabeza. Su estructura es ilustrada en la Figura 45.

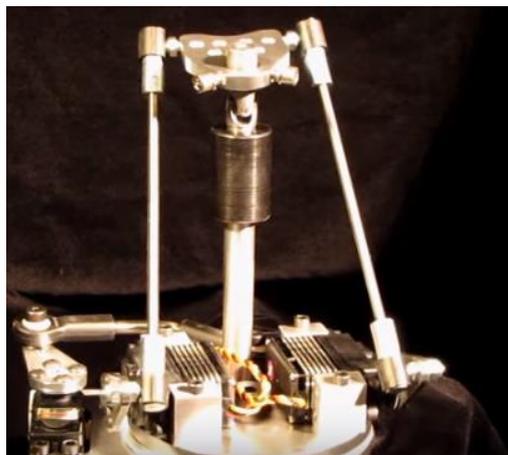


Figura 45 Mecanismo cuello de Custom Entertainment

Fuente: (Custom Entertainment Solutions Reel, 2011)

3.1.4.1.6. Sub-módulo Estructura de soporte Interna

La estructura de soporte interna del robot es aquella que servirá de apoyo para los sub-módulos anteriores y demás elementos que se requieran en el diseño. Este sub-módulo brindará una forma base a la apariencia del ente cibernético. Se presentan básicamente dos opciones:

Opción A: Estructura sólida

Una estructura sólida se refiere a crear un cuerpo, y en este, realizar las respectivas perforaciones para los distintos elementos a insertarse. Las estructuras sólidas generalmente son pesadas.

Opción B: Estructura en base a chapas metálicas

Este tipo de estructuras se componen al disponer las chapas metálicas de una forma que satisfaga el diseño. Las chapas son empernadas entre sí para unirlas y el peso obtenido suele ser bajo, ya que se forma una estructura hueca.

3.1.4.2. Módulo Eléctrico y Electrónico

El módulo eléctrico y electrónico está conformado por los actuadores y los drivers o tarjetas coordinadoras de los mismos.

3.1.4.2.1. Sub-módulo Generación de movimiento

Este sub-módulo detalla los posibles tipos de motores eléctricos a usarse en todo el robot. Como especificación de diseño se ha impuesto que el tipo de corriente sea continua, los dispositivos disponibles son:

- a) Motor de estator bobinado
- b) Motor paso a paso

c) Servomotor

Opción A: Motor de estator bobinado

Los motores DC de estator bobinado, como el que se muestra en la Figura 46, son los más comunes y económicos ya que permiten un amplio rango de velocidad, obteniendo un alto par-motor a altas velocidades. (Alvarez, 2012)



Figura 46 Motor DC

Fuente: (Johnson Electric, 2015)

Opción B: Motor paso a paso

Un motor paso a paso, Figura 47, es aquel que avanza girando pequeños pasos, su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad. (Carletti, 2015)



Figura 47 Motor a pasos

Fuente: (Need for bits, 2012)

Opción C: Servomotor

Un servomotor, como el de la Figura 48, es un motor eléctrico que es capaz de ser controlado, tanto en velocidad como en posición. El control se realiza mediante una señal codificada, si la señal existe en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje y si ésta cambia, la posición angular de los piñones cambia. (UCLM, 2015)



Figura 48 Servomotor

Fuente: (Bricogeek, 2015)

3.1.4.2.2. Sub-módulo Control de actuadores

Este sub-módulo detalla las alternativas de control para los actuadores del sub-módulo generación de movimiento.

a) Control de motores de corriente continua

De manera general, en este tipo de motores se controla la velocidad y esto se realiza mediante un encóder.

b) Control de motor paso a paso

Este tipo de motores pueden ser unipolares o bipolares, para los primeros se utiliza un integrado ULN 2803 y para los bipolares un integrado L293.

Opción A: Integrado ULN2803

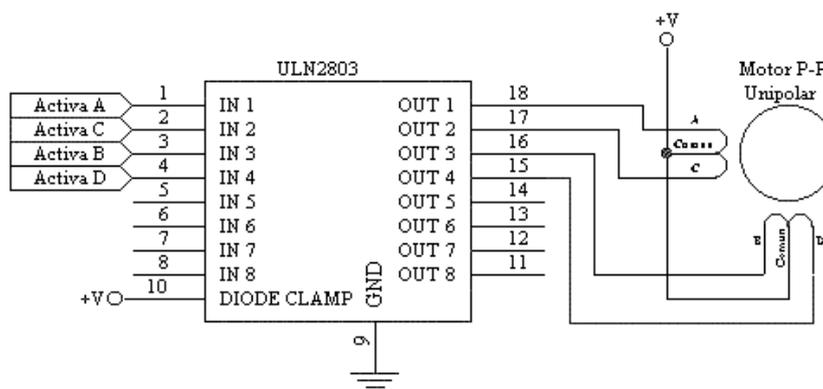


Figura 49 Control de motor a pasos unipolar con integrado ULN2803

Fuente: (Todo Robot, 2015)

Opción B: Integrado L293

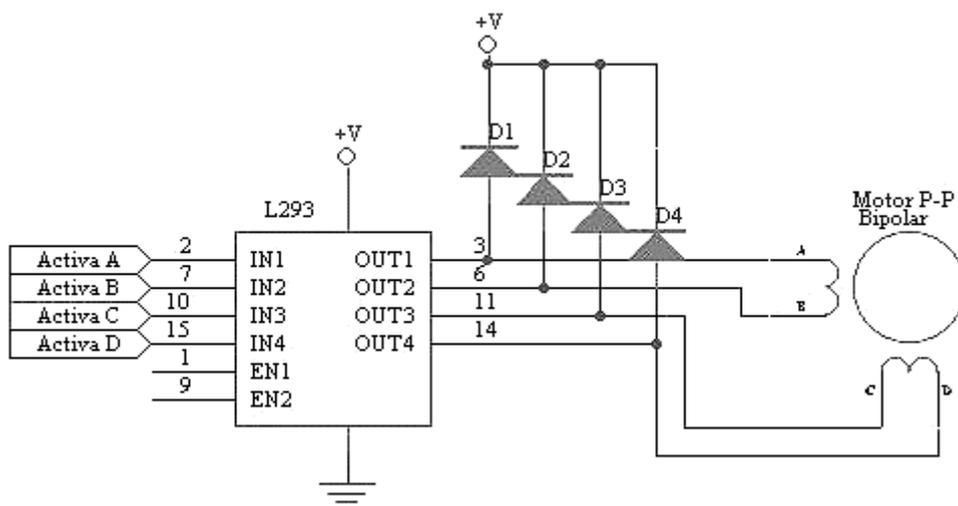


Figura 50 Control de motor a pasos bipolar con integrado L293

Fuente: (Todo Robot, 2015)

c) Control de servomotor

Opción A: Tarjeta Arduino Mega ADK y módulo para servomotores

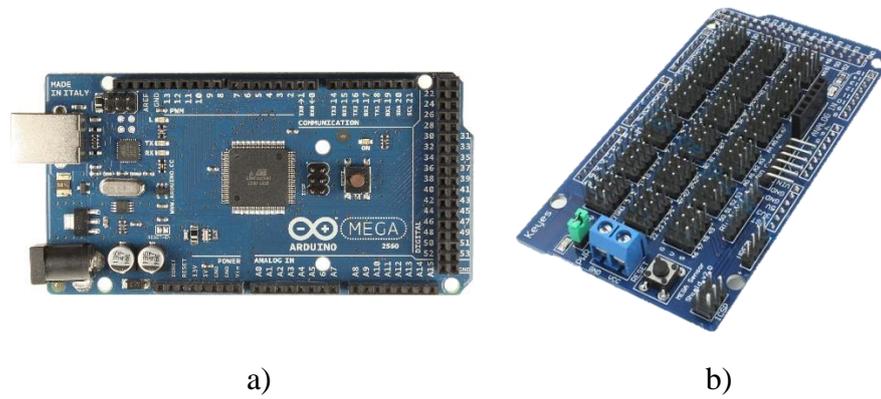


Figura 51 a) Placa Arduino Mega ADK
b) Módulo de servomotores para placa Arduino Mega

Fuente: (Arduino, 2015)

Opción B: Tarjeta SSC-32



Figura 52 Tarjeta SSC-32

Fuente: (Lynxmotion, 2013)

3.1.4.3.Módulo de Tele-operación

El módulo de tele-operación contempla los dispositivos que permitan realizar la tele-operación además de la interfaz propia del robot, la arquitectura de la misma corresponde al esquema posición-posición.

Opción A: Panel de pulsadores

Esta opción consiste en que en un panel de pulsadores se coloquen botones con distintas órdenes para el robot. Las desventajas de esta alternativa son que su manufactura es compleja exige mucho tiempo y dinero además, que exige un circuito de acondicionamiento de señal para comunicarse con la computadora.

Opción B: Teclado

Mediante combinaciones de teclas se podrá controlar al robot, como ventajas se contemplan la existencia de teclados inalámbricos y la fácil comunicación con la computadora; una desventaja es que el robot no poseerá demasiadas acciones por lo que se estaría desperdiciando el dispositivo.

Opción C: Joystick

Mediante un Joystick se podrán controlar las expresiones del robot y su movimiento. Sus ventajas son que puede ser inalámbrico, es un dispositivo pequeño, no pesado y maniobrable compatible con las computadoras; su principal desventaja es el cambio de batería.

3.1.4.4.Módulo de Control

El módulo de control estará desarrollado en el sistema ROS.

3.1.4.5. Módulo de Alimentación Eléctrica

El módulo de alimentación eléctrica corresponde al tipo de fuente que abastecerá a todo el sistema estructural y de control del robot.

Opción A: Fuentes de poder

Son aquellos dispositivos electrónicos que transforman la tensión alterna de la red nacional en una tensión continua valiéndose de rectificadores, fusibles, filtros y otros elementos que favorecen esta transformación.

Opción B: Baterías recargables

Actualmente son utilizadas en dispositivos modernos de alto consumo de energía, duran más que las pilas alcalinas y pueden ser recargadas hasta 500 veces, lo que implica ahorro económico al no tener que comprar pilas todo el tiempo, además de ser amigables con el ambiente puesto que no contienen químicos tóxicos y se pueden reciclar en lugares especializados. (Rayovac, 2015)

Opción C: Pilas desechables

Conocidas como pilas alcalinas poseen una sola vida de uso y su desecho irresponsable es peligroso para el medio ambiente.

3.1.4.6. Módulo de Visión

En módulo de visión permite la obtención, procesamiento y análisis de información obtenida a través de imágenes digitales. En el robot nos permitirá determinar la posición de la persona con la que se va a interactuar, y de esta manera desarrollar el tracking o rastreo para lograr que el robot mantenga la mirada siempre de frente a la persona.

Siendo las imágenes digitales el medio de obtención de información el diseño en este módulo se centra en la selección de la cámara, cuya función es la captura de imágenes digitales. Hay cámaras específicas para cada aplicación, entre ellas encontramos: cámaras matriciales, lineales, de alta velocidad, infrarrojas, inteligentes y 3D. Cada uno de estos modelos es ilustrados en la Figura 53.



Figura 53 Cámaras utilizadas en visión artificial

Fuente: (INFAIMON, 2016)

Opción A: Cámaras Matriciales

Las cámaras matriciales son aquellas cuyo sensor cubre un área que está formado por una matriz de píxeles.

Aplicaciones: objetos en movimiento

Opción B: Cámaras Lineales

Se ajustan al concepto de barrido lineal, la construcción de imágenes se genera línea a línea.

Aplicaciones: inspección de materiales fabricados en continuo

Opción C: Cámaras Alta Velocidad

Como su nombre lo indica son cámaras con alta velocidad de procesamiento, capaces de capturar desde 1000 a 1000000 imágenes por segundo.

Aplicaciones: procesos industriales muy rápidos como estudio de proyectiles, control de turbulencia, visualización de explosión, entre otras.

Opción D: Cámaras Infrarrojas

Son aquellas que pueden capturan imágenes fuera del espectro visible. Aplicaciones: procesos industriales con radiación infrarroja cercana a 1 μ m.

Opción E: Cámaras Inteligentes

Son cámaras que manteniendo los componentes tradicionales de las cámaras convencionales se les ha añadido otros componentes como procesadores, memorias, sistemas de comunicación, entre otras.

Opción F: Cámaras 3D

Están compuestas por un láser de línea y la cámara, que le permite hacer medidas de formas 3D de hasta 30000 perfiles por segundo.

Aplicaciones: mediciones 3D

3.1.4.7. Módulo de Conversación

El módulo de conversación es el encargado de la emisión de sonidos durante la interacción, esto se realizará usando un convertidor de texto a voz; el texto será ingresado a través de la interfaz de usuario para que posteriormente el mensaje sea reproducido en un parlante.

3.1.5. Selección de concepto

Para la selección del concepto se tomarán en cuenta criterios que satisfagan las necesidades identificadas para cada módulo y sus respectivas alternativas. Posteriormente, por ponderaciones calificaremos cada uno de los criterios y opciones de diseño para en una matriz final seleccionar la opción que más se ajuste a los requerimientos planteados.

3.1.5.1. Módulo Eléctrico y Electrónico

3.1.5.1.1. Sub-módulo Generación de movimiento

Los criterios de selección son los siguientes:

Tabla 6

Criterios de diseño sub-módulo Generación de movimiento

Criterio	Letra representativa
Control	A
Bajo Costo	B
Tamaño	C

A continuación se muestran los cuadros de filtrado y selección:

Matriz de Criterios

Tabla 7

Matriz de criterios de diseño sub-módulo Generación de movimiento

	A	B	C	$\Sigma+1$	Peso
A		0.5	1	2.5	0.42
B	0.5		0.5	2	0.33
C	0	0.5		1.5	0.25
Total				6	1.00

Matrices de criterios vs opciones de diseño

Tabla 8

Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos

	Opción A	Opción B	Opción C	$\sum+1$	Peso
Opción A		0	0	1	0.17
Opción B	1		0	2	0.33
Opción C	1	1		3	0.50
Total				6	1

Tabla 9

Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos

	Opción A	Opción B	Opción C	$\sum+1$	Peso
Opción A		1	1	3	0.46
Opción B	0.5		0.5	2	0.31
Opción C	0	0.5		1.5	0.23
Total				6.5	1

Tabla 10

Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Generación de movimientos

	Opción A	Opción B	Opción C	$\sum+1$	Peso
Opción A		0	0	1	0.17
Opción B	1		0	2	0.33
Opción C	1	1		3	0.50
Total				6	1

Matriz de resultados**Tabla 11****Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Generación de movimientos**

Criterio	A	B	C	Σ	Orden de selección
Opción A	0.07	0.15	0.04	0.26	3
Opción B	0.14	0.10	0.08	0.32	2
Opción C	0.21	0.08	0.17	0.45	1

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es el servo-motor.

*3.1.5.1.2. Sub-módulo Control de actuadores***Tabla 12****Criterios de diseño sub-módulo Control de actuadores**

Criterio	Letra representativa
Velocidad del microcontrolador	A
Número de servos	B
Espacio requerido	C

Tabla 13**Matriz de criterios de diseño sub-módulo Control de actuadores**

	A	B	C	$\Sigma+1$	Peso
A		0.5	1	2.5	0.42
B	0.5		0.5	2	0.33
C	0	0.5		1.5	0.25
Total				6	1

Tabla 14

Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores

	Opción A	Opción B	$\sum+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 15

Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores

	Opción A	Opción B	$\sum+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 16

Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Control de Actuadores

	Opción A	Opción B	$\sum+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 17

Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Control de Actuadores

Criterio	A	B	C	\sum	Orden de selección
Opción A	0.14	0.22	0.08	0.44	2
Opción B	0.28	0.11	0.5	0.89	1

En base a la matriz de resultados la opción ganadora la tarjeta SSC-32.

3.1.5.2. Módulo de Expresiones

3.1.5.2.1. Sub-módulo Apariencia

Tabla 18

Criterios de diseño sub-módulo Apariencia

Criterio	Letra representativa
Interacción	A
Cercanía al valle inquietante	B
Facilidad de fabricación	C

Tabla 19

Matriz de criterios de diseño sub-módulo apariencia

	A	B	C	$\Sigma+1$	Peso
A		0.5	0	1.5	0.25
B	0.5		0	1.5	0.25
C	1	1		3	0.50
Total				6	1

Tabla 20

Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 21

Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 22**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Apariencia**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 23**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Apariencia**

Criterio	A	B	C	Σ	Orden de selección
Opción A	0.08	0.08	0.17	0.33	2
Opción B	0.17	0.17	0.33	0.67	1

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es la apariencia animal.

3.1.5.2.2. *Sub-módulo Ojos***Tabla 24****Criterios de diseño sub-módulo Ojos**

Criterio	Letra representativa
Disponibilidad de elementos y materiales	A
Robustez	B
Bajo Costo	C
Facilidad de implementación	D

Tabla 25**Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Ojos**

	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Peso
A		1	1	1	4	0.40
B	0		1	1	3	0.30
C	0	0		0.5	1.5	0.15
D	0	0	0.5		1.5	0.15
Total					10	1

Tabla 26**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 27**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 28**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 29**Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Ojos**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1.5	0.50
Opción B	0.5		1.5	0.50
Total			3	1

Tabla 30**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Ojos**

Criterio	A	B	C	D	Σ	Orden de selección
Opción A	0.13	0.20	0.05	0.08	0.46	2
Opción B	0.27	0.10	0.1	0.08	0.54	1

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es el mecanismo de ojos animatrónicos de Fritz, sin embargo los diseñadores hemos optado por combinar los aspectos fuertes de estas opciones de solución en una alternativa que satisfaga en su totalidad a los criterios de selección.

La opción combinada consta de dos párpados y un globo ocular por ojo, dichas piezas serán realizadas en impresión 3D por disponibilidad de material. Los párpados se abren y cierran y el ojo sube y baja la pupila, existirán dos actuadores uno para el ojo y otro para el párpado superior, es decir 4 actuadores en el sistema total. La sujeción de estos se realizará con pernos hacia una chapa metálica como en el modelo de Tearle y las piezas de la estructura que permite el movimiento del ojo serán semejantes a las del mecanismo de Fritz. Opción C se denominará a este mecanismo y su boceto se muestra en la Figura 54 a continuación:



a) Vista general

b) Vista corte lateral

Figura 54 Mecanismo de ojos Opción C**a) Vista General b) Vista corte Lateral**

3.1.5.2.3. Sub-módulo Cejas

Tabla 31**Criterios de diseño sub-módulo Cejas**

Criterio	Letra representativa
Disponibilidad de elementos y materiales	A
Grados de libertad	B
Bajo Costo	C
Facilidad de implementación	D

Tabla 32**Matriz de Criterios de diseño sub-módulo cejas**

	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Peso
A		1	0.5	1	3.5	0.35
B	0		0	0	1	0,1
C	0.5	1		0.5	3	0.3
D	0	1	0.5		2.5	0.25
Total					9	1

Tabla 33**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo cejas**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1.5	0.50
Opción B	0.5		1.5	0.50
Total			3	1

Tabla 34**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo cejas**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 35**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo cejas**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 36**Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo cejas**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1.5	0.50
Opción B	0.5		1.5	0.50
Total			3	1

Tabla 37**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Cejas**

Criterio	A	B	C	D	Σ	Orden de selección
Opción A	0.18	0.07	0.17	0.125	0.41	1
Opción B	0.18	0.03	0.08	0.125	0.29	2

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es el mecanismo con un solo motor.

*3.1.5.2.4. Sub-módulo Boca***Tabla 38****Criterios de diseño sub-módulo Boca**

Criterio	Letra representativa
Disponibilidad de elementos y materiales	A
Expresividad	B
Bajo Costo	C
Facilidad de implementación	D

Tabla 39**Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Boca**

	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Peso
A		1	0.5	1	3.5	0.35
B	0		1	1	3	0.30
C	0.5	0		0	1.5	0.15
D	0	0	1		2	0.20
Total					10	1

Tabla 40**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Boca**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1.5	0.50
Opción B	0.5		1.5	0.50
Total			3	1

Tabla 41**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Boca**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 42**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Boca**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 43**Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Boca**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 44**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Boca**

Criterio	A	B	C	D	Σ	Orden de selección
Opción A	0.18	0.10	0.13	0.07	0.48	2
Opción B	0.18	0.20	0.07	0.13	0.58	1

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es el mecanismo de iCat

3.1.5.2.5. Sub-módulo Cuello

Tabla 45**Criterios de diseño sub-módulo Cuello**

Criterio	Letra representativa
Disponibilidad de elementos y materiales	A
Manufacturabilidad	B
Bajo Costo	C
Facilidad de implementación	D

Tabla 46**Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Cuello**

	A	B	C	D	$\sum+1$	Peso
A		1	0.5	1	3.5	0.35
B	0		1	1	3	0.30
C	0.5	0		0	1.5	0.15
D	0	0	1		2	0.20
Total					10	1

Tabla 47**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello**

	Opción A	Opción B	$\sum+1$	Peso
Opción A		1	0.67	0.67
Opción B	0		0.33	0.33
Total			3	1

Tabla 48**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello**

	Opción A	Opción B	$\sum+1$	Peso
Opción A		1	0.67	0.67
Opción B	0		0.33	0.33
Total			3	1

Tabla 49**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1.5	0.50
Opción B	0.5		1.5	0.50
Total			3	1

Tabla 50**Matriz de criterio D vs alternativas de diseño sub-módulo Cuello**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	2	0.67
Opción B	0		1	0.33
Total			3	1

Tabla 51**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Cuello**

Criterio	A	B	C	D	Σ	Orden de selección
Opción A	0.20	0.20	0.10	0.13	0.63	1
Opción B	0.10	0.10	0.10	0.07	0.37	2

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es el mecanismo de Robotic Squared

*3.1.5.2.6. Sub-módulo Estructura de soporte Interna***Tabla 52****Criterios de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna**

Criterio	Letra representativa
Menor Peso	A
Fácil reemplazo de partes	B

Tabla 53**Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna**

	A	B	$\Sigma+1$	Peso
A		0	1	0.33
B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 54**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 55**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna**

	Opción A	Opción B	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	1	0.33
Opción B	1		2	0.67
Total			3	1

Tabla 56**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Estructura de soporte Interna**

Criterio	A	B	Σ	Orden de selección
Opción A	0.11	0.22	0.33	2
Opción B	0.22	0.44	0.89	1

En base a la matriz de resultados la opción adecuada es usar una estructura a base de chapas metálicas.

3.1.5.3. Módulo de Tele-operación

Tabla 57

Criterios de diseño sub-módulo Tele-operación

Criterio	Letra representativa
Facilidad de manipulación	A
Facilidad de conexión a PC	B

Tabla 58

Matriz de Criterios de diseño sub-módulo Tele-operación

	A	B	$\Sigma+1$	Peso
A		0.5	1.5	0.43
B	1		2	0.57
Total			3.5	1

Tabla 59

Matriz de criterio A vs alternativas de diseño sub-módulo Tele-operación

	Opción A	Opción B	Opción C	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	0	1.5	0.25
Opción B	0.5		0	1.5	0.25
Opción C	1	1		3	0.50
Total				6	1

Tabla 60

Matriz de criterio B vs alternativas de diseño sub-módulo Tele-operación

	Opción A	Opción B	Opción C	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0	0	1	0.17
Opción B	1		0.5	2	0.33
Opción C	1	1		3	0.50
Total				6	1

Tabla 61**Matriz de resultado de alternativa de diseño sub-módulo Tele-operación**

Criterio	A	B	Σ	Orden de selección
Opción A	0.11	0.10	0.20	3
Opción B	0.11	0.19	0.30	2
Opción C	0.21	0.29	0.50	1

En base a la matriz de resultados la opción adecuada es el uso de joystick.

*3.1.5.4. Módulo de Alimentación Eléctrica***Tabla 62****Criterios diseño módulo Alimentación Eléctrica**

Criterio	Letra representativa
Durabilidad	A
Capacidad de corriente	B
Amigable con medio ambiente	C

Tabla 63**Matriz de criterios diseño módulo Alimentación Eléctrica**

	A	B	C	$\Sigma+1$	Peso
A		0.5	1	2.5	0.42
B	0.5		0.5	2	0.33
C	0	0.5		1.5	0.25
Total				6	1

Tabla 64**Matriz de criterio A vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica**

	Opción A	Opción B	Opción C	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		1	1	3	0.50
Opción B	0		1	2	0.33
Opción C	0	0		1	0.17
Total				6	1

Tabla 65**Matriz de criterio B vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica**

	Opción A	Opción B	Opción C	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1	2.5	0.42
Opción B	0.5		1	2.5	0.42
Opción C	0	0		1	0.17
Total				6	1

Tabla 66**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño módulo Alimentación Eléctrica**

	Opción A	Opción B	Opción C	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1	2.5	0.42
Opción B	0.5		1	2.5	0.42
Opción C	0	0		1	0.17
Total				6	1

Tabla 67**Matriz de resultado de alternativa de diseño módulo Alimentación Eléctrica**

Criterio	A	B	C	Σ	Orden de selección
Opción A	0.21	0.14	0.10	0.45	1
Opción B	0.14	0.14	0.10	0.38	2
Opción C	0.07	0.06	0.06	0.18	3

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es la fuente de poder.

3.1.5.5. Módulo de Visión**Tabla 68****Criterios diseño módulo Visión**

Criterio	Letra representativa
Compatibilidad	A
Calidad de imagen	B
Costo	C

Tabla 72**Matriz de criterio C vs alternativas de diseño módulo Visión**

	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E	Opción F	$\Sigma+1$	Peso
Opción A		0.5	1	1	1	1	5.5	0.275
Opción B	0.5		1	1	1	1	5.5	0.275
Opción C	0	0		0	0	1	2	0.100
Opción D	0	0	1		0.5	1	2.5	0.125
Opción E	0	0	1	0.5		1	3.5	0.175
Opción F	0	0	0	0	0		1	0.050
Total							20	1

Tabla 73**Matriz de resultado de alternativa de diseño módulo Visión**

Criterio	A	B	C	Σ	Orden de selección
Opción A	0.125	0.046	0.044	0.215	2
Opción B	0.058	0.046	0.044	0.148	4
Opción C	0.058	0.071	0.016	0.145	5
Opción D	0.058	0.104	0.020	0.183	3
Opción E	0.058	0.129	0.120	0.216	1
Opción F	0.058	0.021	0.008	0.087	6

En base a la matriz de resultados la opción ganadora es la cámara inteligente.

3.1.6. Definición del diseño.

Las alternativas de diseño seleccionadas para cada módulo se detallan en la Tabla 74.

Tabla 74**Alternativas de diseño por módulo del robot**

Módulo	Alternativa seleccionada
Expresiones	
a) Sub-módulo Apariencia	a) Apariencia animal
b) Sub-módulo Ojos	b) Creada por autores
c) Sub-módulo Cejas	c) Mecanismo un motor
d) Sub-módulo Boca	d) Mecanismo Icat Robot
e) Sub-módulo Cuello	e) Mecanismo Robotics Squared
f) Sub-módulo Estructura de soporte interna	f) Estructura a base de chapas metálicas
Eléctrico y Electrónico	
a) Sub-módulo Generación de movimiento	g) Servomotores
b) Sub-módulo Control de actuadores	h) Tarjeta SSC-32
Tele-operación	Joystick e Interfaz de usuario
Control	Sistema Operativo Ros
Alimentación Eléctrica	Fuente de poder
Visión	Visión por medio de cámara inteligente
Conversación	Convertidor de texto a voz

Luego de haber seleccionado una alternativa de solución para las necesidades de cada módulo, se procede a describir el diseño detalle del robot, se realizará un desglose, dimensionamiento y validación de todos los elementos necesarios para el funcionamiento del mismo.

3.1.6.1. Módulo de Expresiones

El diseño del módulo expresiones se centrará en especificar y validar la geometría y material de los mecanismos que lo componen junto el dimensionamiento de la capacidad de los servo-motores requeridos.

La estructura que da forma al robot y sirve de base para los distintos mecanismos está conformada por chapas metálicas, para su diseño adecuado es importante notar la existencia de ciertas relaciones en sus dimensiones, éstas se

muestran en la Figura 55 junto con los radios de doblez admisibles según el material en la tabla 75.

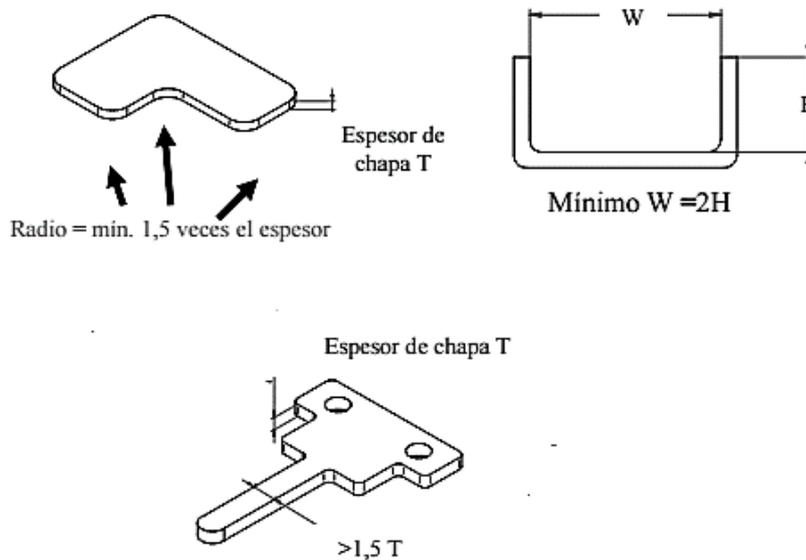


Figura 55 Relación de dimensiones en chapas metálicas

Fuente: (Universidad Carlos III de Madrid, 2013)

Tabla 75

Radio mínimo de doblado para algunos materiales a temperatura ambiente

Material	Estado	
	Suave	Duro
Aleaciones de Aluminio	0	6T
Cobre de berilio	0	4T
Latón, bajo plomo	0	2T
Magnesio	5T	13T
Aceros		
Inoxidable austenítico	0.5T	6T
Bajo carbono, baja aleación y alta resistencia-baja aleación (HLSA)	0.5T	4T
Titanio	0.7T	3T
Aleaciones de titanio	2.6T	4T

Fuente: (Schmid, 2002)

3.1.6.1.1. Sub-módulo Apariencia

La alternativa seleccionada para la apariencia del robot es la animal. Al analizar los diferentes animales existentes se ha buscado aquellos que poseen caras planas y por ende tienen las expresiones más marcadas, entre ellos encontramos a los perros, gatos, osos, mono, conejo, entre otros. Se ha decidido entonces utilizar la apariencia de un oso panda.

Los osos pandas por naturaleza son animales que causan mucha ternura, característica que nos permitirá captar la atención de las personas con mayor facilidad y de esta manera dar inicio a la interacción. La forma redonda de su cabeza nos permitirá tener mayor espacio para la distribución de los diferentes módulos que formaran parte de las expresiones. Para su piel, se utilizará una tela suave tanto a tacto como a la vista para de esta manera mantener la tierna apariencia que tienen este tipo de animales por naturaleza.

3.1.6.1.2. Sub-módulo Ojos

La metodología de diseño que se detalla a continuación es la misma para los sub-módulos cejas, boca, cuello y estructura interna.

El ojo del robot está conformado por las partes que se aprecian en la Figura 56.

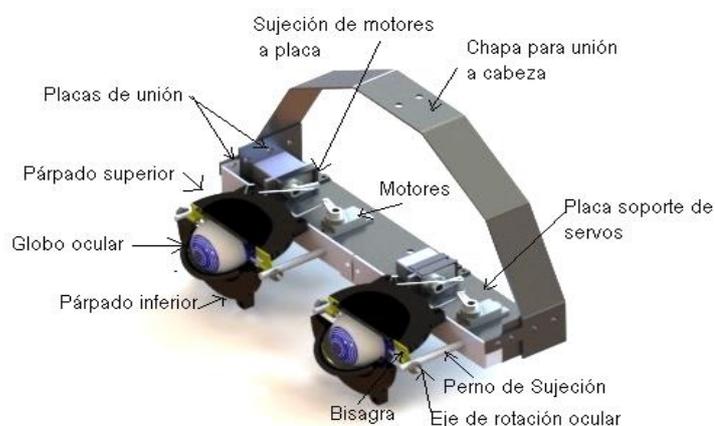


Figura 56 Partes del sub-módulo Ojos

Es importante recordarle al lector que la estructura interna del robot es a base de chapas metálicas; es por ello que cada sub-módulo contará con los respectivos medios de sujeción y acople a la misma, como es apreciable en este caso.

Para definir el diseño de los ojos, dividiremos su análisis en dos partes: la parte eléctrica y la parte mecánica.

Diseño Eléctrico

En esta etapa del diseño se dimensionaran los cuatro motores. Los diseñadores conocemos la forma y la masa del globo ocular y el párpado superior, tales valores se contemplan en la Tabla 76.

Tabla 76

Forma y masa del globo ocular y párpado superior

Globo ocular	Párpado Superior
Forma	Forma
	
Masa:0.018Kg	Masa: 0.0123Kg

El peso de los elementos constituye la fuerza que actuará sobre los motores a una distancia determinada por la longitud del husillo del mismo, dicho valor estándar es 1.5 cm para los micro servos. El diagrama simplificado de fuerzas es igual para todos los casos y se ilustra en la Figura 57, la variante es la fuerza aplicada según corresponda.

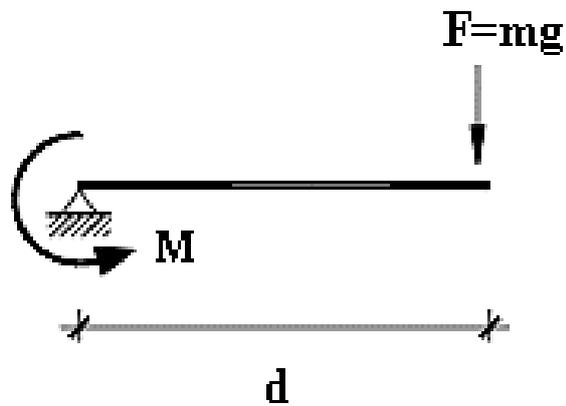


Figura 57 Diagrama cuerpo libre husillo servomotor

El momento flector del husillo del servo constituye el torque del mismo $M = T$ entonces la ecuación que nos permite conocer el torque necesario es:

$$T = Fd$$

donde:

$$F = mg[N]$$

$$d = 0.015 [m]$$

Entonces para el globo ocular el torque necesario es:

$$T = 0.018 (9.81)(0.015)[Nm]$$

$$T = 0.0026[Nm]$$

$$T = 2.64[Nmm]$$

Y para el párpado es:

$$T = 0.012 (9.81)(0.015)[Nm]$$

$$T = 0.0018[Nm]$$

$$T = 1.81[Nmm]$$

Como se parecía en los cálculos anteriores el mayor torque requerido es en el globo ocular, entonces, con este valor determinaremos la capacidad de los 4 motores del mecanismo al ser el más crítico. Compararemos los datos calculados con los obtenidos mediante un software CAE para validar la utilización del mismo en los posteriores mecanismos, las gráficas generadas son las siguientes:

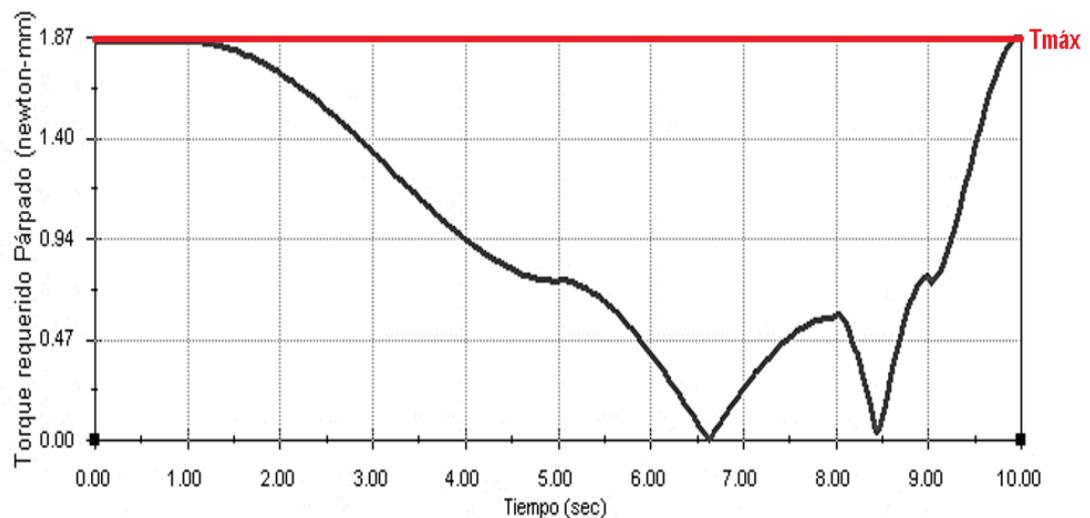


Figura 58 Torque requerido por Párpado

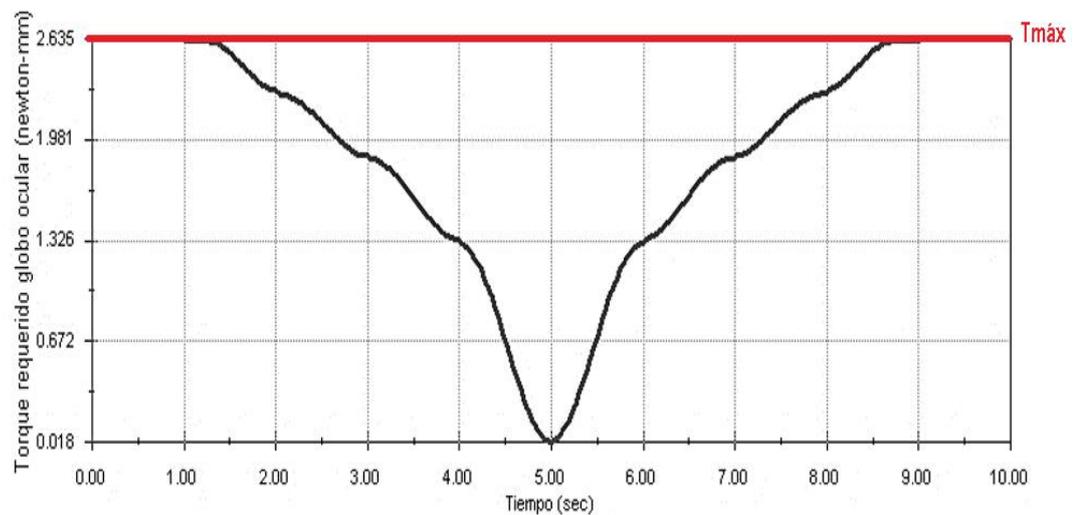


Figura 59 Torque requerido por globo ocular

Como se aprecia en las gráficas el valor es el mismo que el calculado, el software es apto para dimensionar los torques.

El funcionamiento de un motor en general no es ideal, es por ello que para determinar la capacidad de los actuadores en el presente mecanismo se tomarán en cuenta los siguientes factores de corrección:

- a) Rendimiento del motor (n): 80%
- b) Pérdidas por transmisión de movimiento, fricción, ajuste de elementos (*Pérdidas*): 50%
- c) Factor de seguridad (*Fact. Seg*): 2

Tomadas en cuenta las consideraciones anteriores el torque necesario está dado por la siguiente expresión matemática:

$$T_{entrada} = \frac{Fact. Seg}{n(Pérdidas)} (T_{salida})$$

$$T = T_{salida}$$

$$T_{entrada} = \frac{2}{0.80(0.50)} (2.64) [Nmm]$$

$$T_{entrada} = 5(2.64) [Nmm]$$

$$T_{entrada} = 13.2 [Nmm]$$

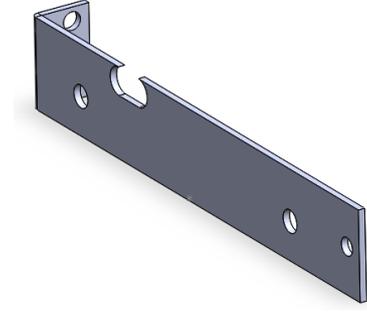
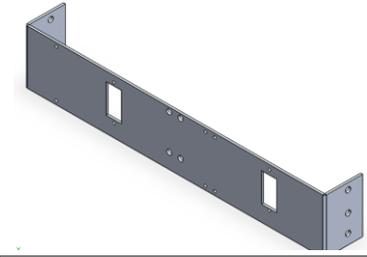
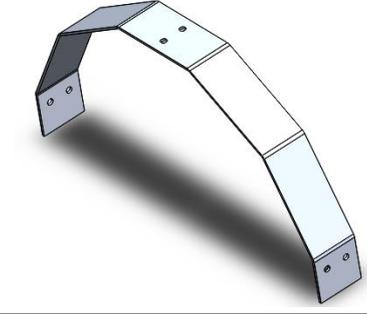
$$\boxed{T_{entrada} = 0.134 [Kgf \cdot cm]}$$

Diseño Mecánico

Los elementos de interés se muestran en la Tabla 77.

Tabla 77

Chapas metálicas de interés del sub-módulo ojos

Elemento	Denominación
	Soporte ojos
	Soporte de motores
	Acople a cabeza

Los diseñadores, tomando en cuenta las relaciones mostradas en las figuras, elaboramos una geometría de prueba para cada objeto la cual se validará mediante el uso de un software CAE.

a) Soporte Ojos

Material: Aluminio 1060

Geometría: Planos Anexos

Simulaciones:

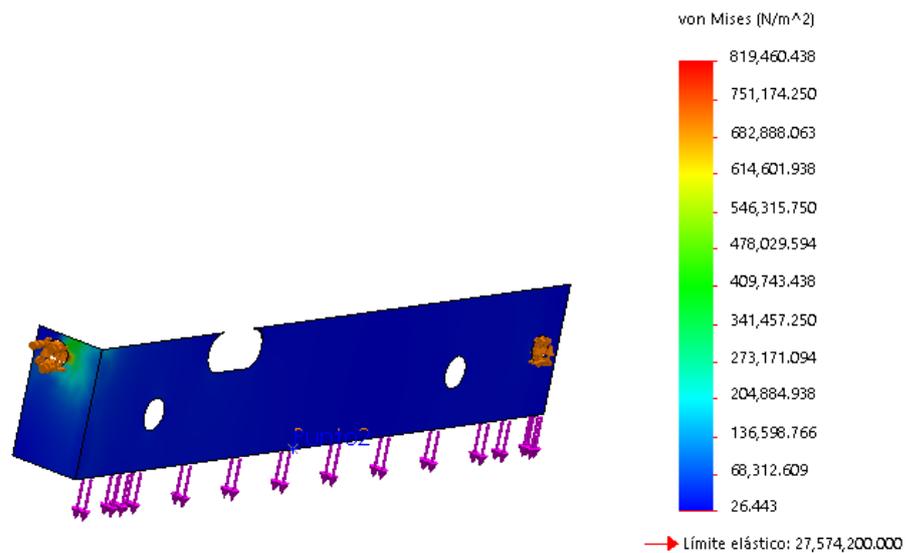


Figura 60 Esfuerzo de Von Mises en placa soporte de ojos

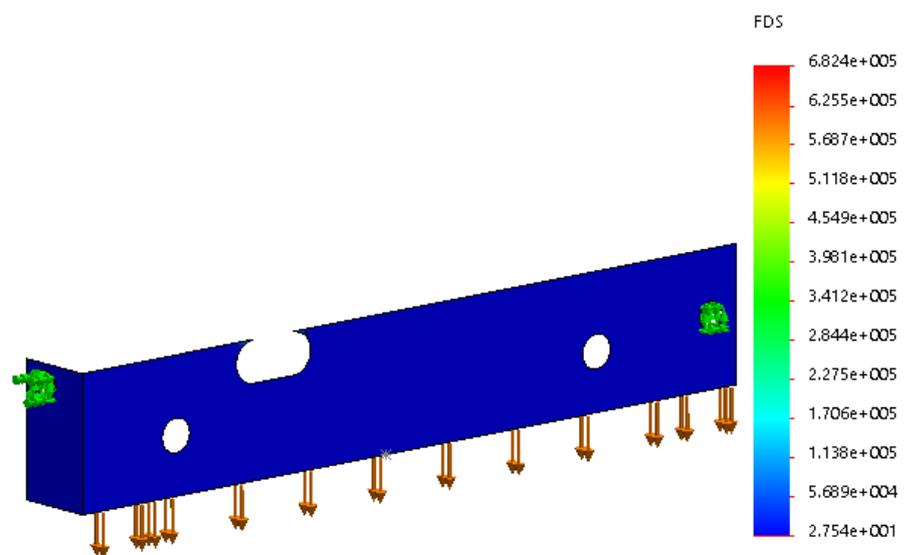


Figura 61 Factor de seguridad en placa soporte de ojos

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos y el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del material.

b) Soporte de motores

Material: Aluminio 1060

Geometría: Planos Anexos

Simulación:

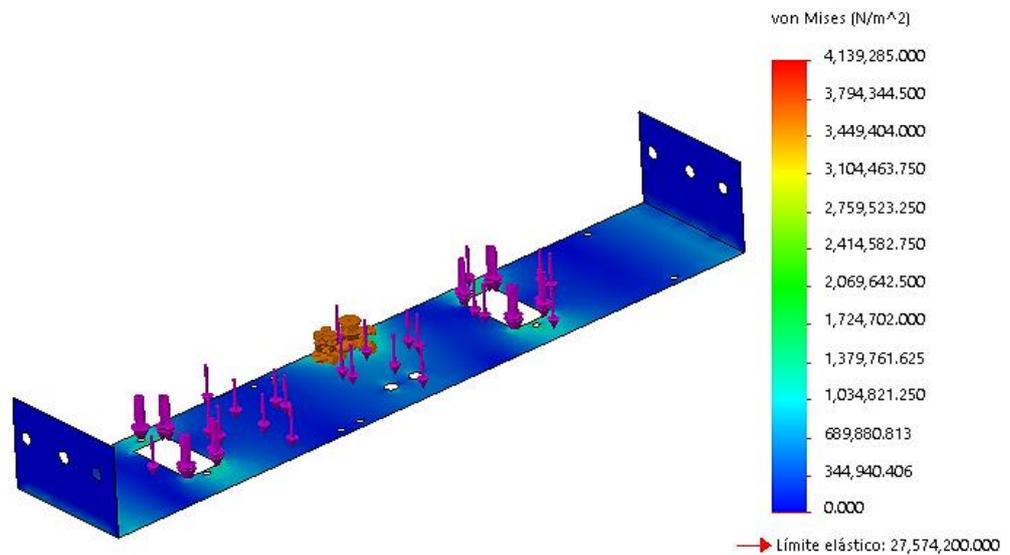


Figura 62 Esfuerzo de Von Mises para placa soporte de motores sub-módulo ojos

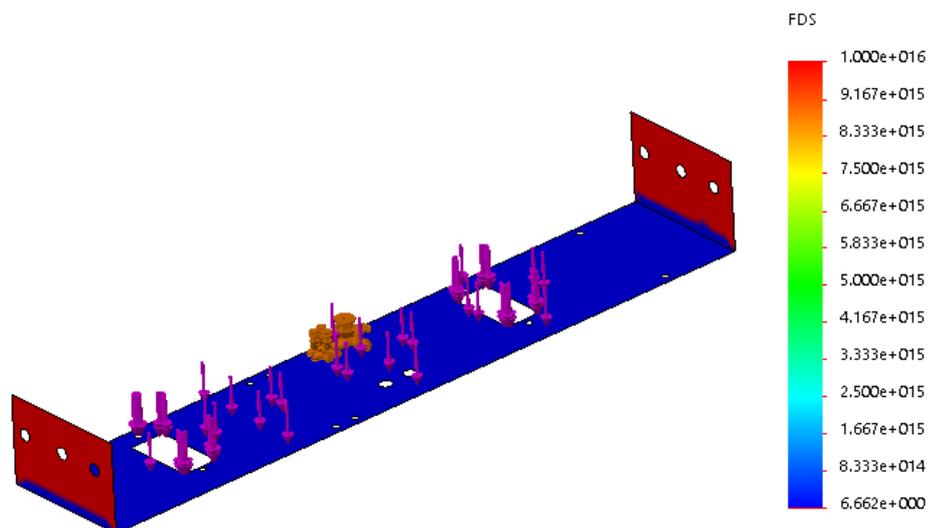


Figura 63 Factor de Seguridad para placa soporte de motores sub-módulo ojos

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos y el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del material.

c) Acople a cabeza

Material: Aluminio 1060

Geometría: Planos Anexos
 Simulación:

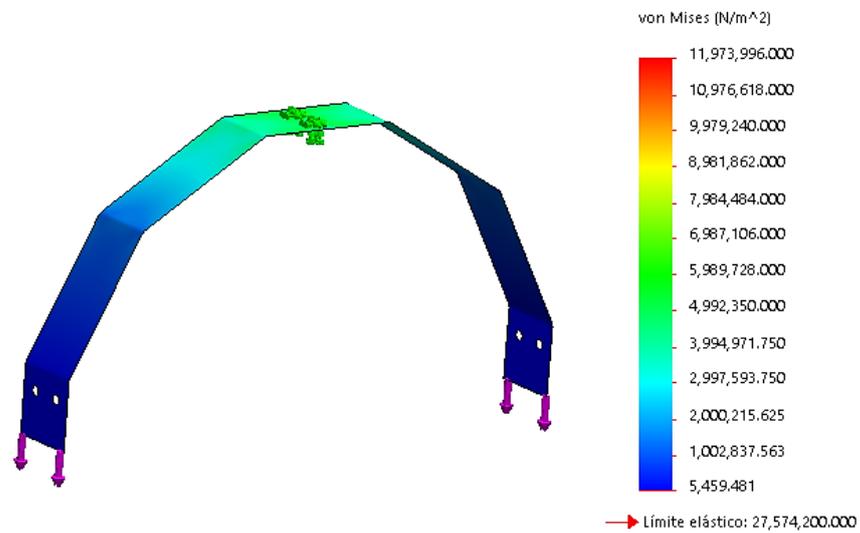


Figura 64 Esfuerzo de Von Mises de placa para acople a cabeza

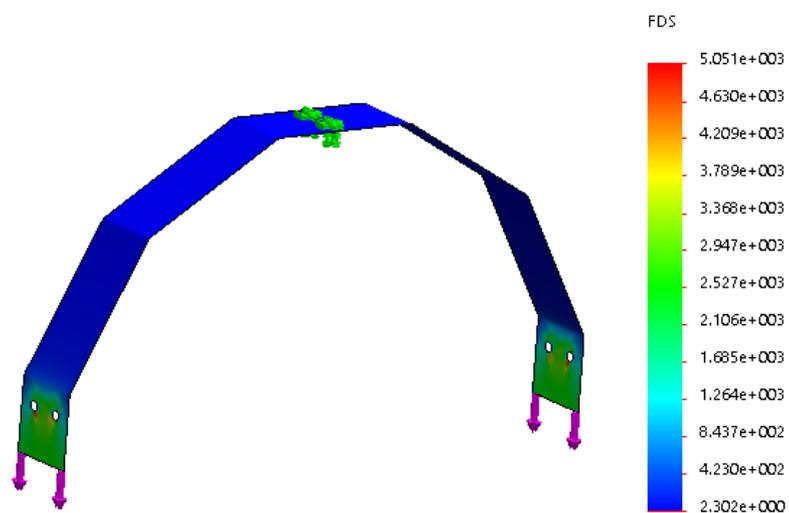


Figura 65 Factor de seguridad de placa para acople a cabeza

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos y el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del material.

3.1.6.1.3. Sub-módulo Cejas

Las cejas del robot están conformadas por las partes que se aprecian en la Figura 66.

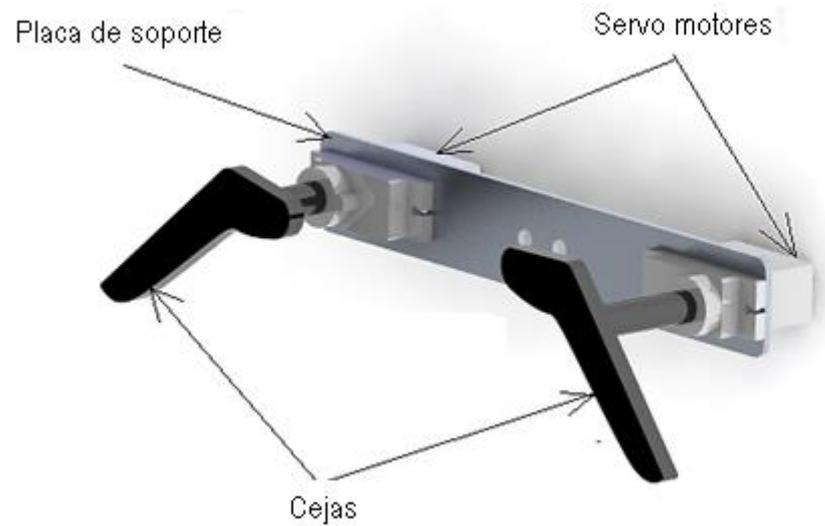


Figura 66 Partes del sub-módulo Cejas

Diseño Eléctrico

Gráfica de Torque requerido por el mecanismo

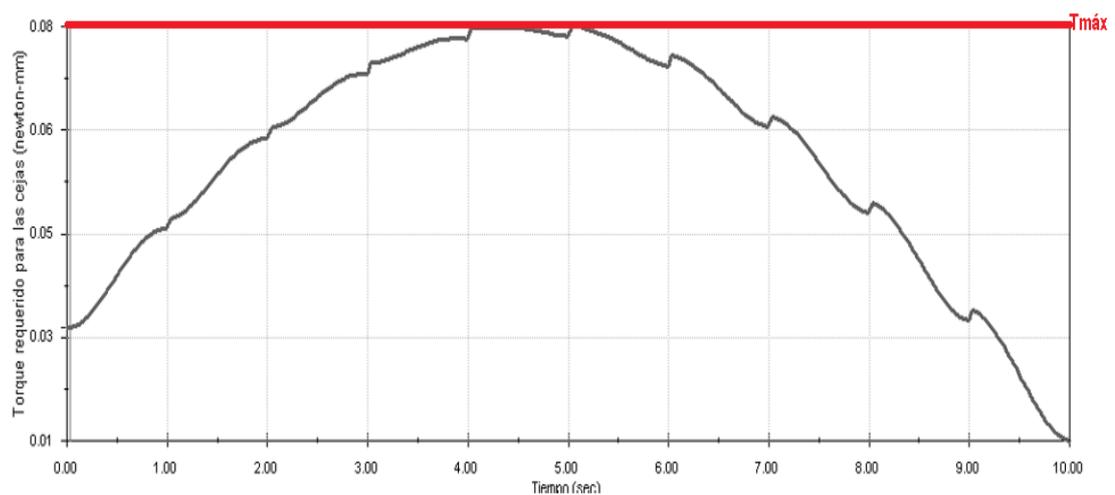


Figura 67 Torque requerido por ceja

$$T = 0.08[Nmm]$$

La capacidad del motor es:

$$T_{entrada} = 5T$$

$$T_{entrada} = 0.4[Nmm]$$

$$T_{entrada} = 0.004[Kgf.cm]$$

Diseño Mecánico

Soporte Cejas

Material: Aluminio 1060

Geometría: Planos Anexos

Simulaciones:

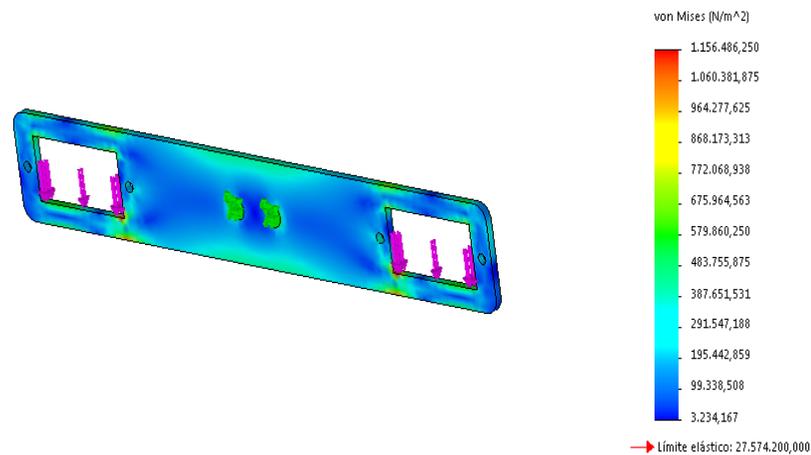


Figura 68 Esfuerzo de Von Mises de placa cejas

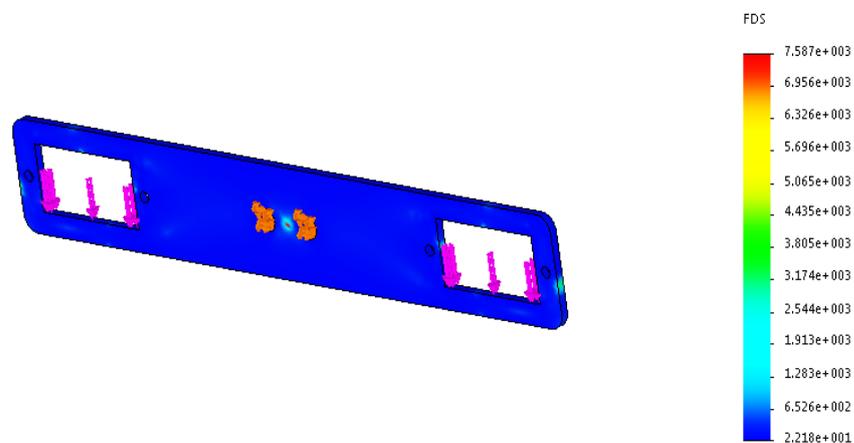


Figura 69 Factor de seguridad de placa cejas

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos.

3.1.6.1.4. Sub-módulo Boca

La boca del robot está conformado por las partes que se aprecian en la Figura 70.

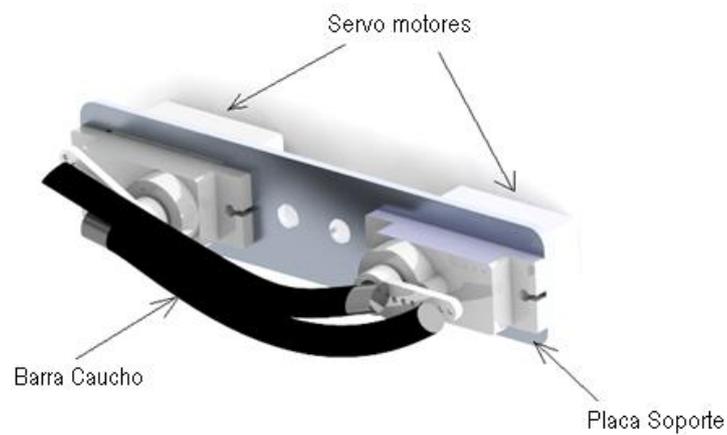


Figura 70 Partes del sub-módulo Boca

Diseño Eléctrico

Gráfica de Torque requerido por el mecanismo

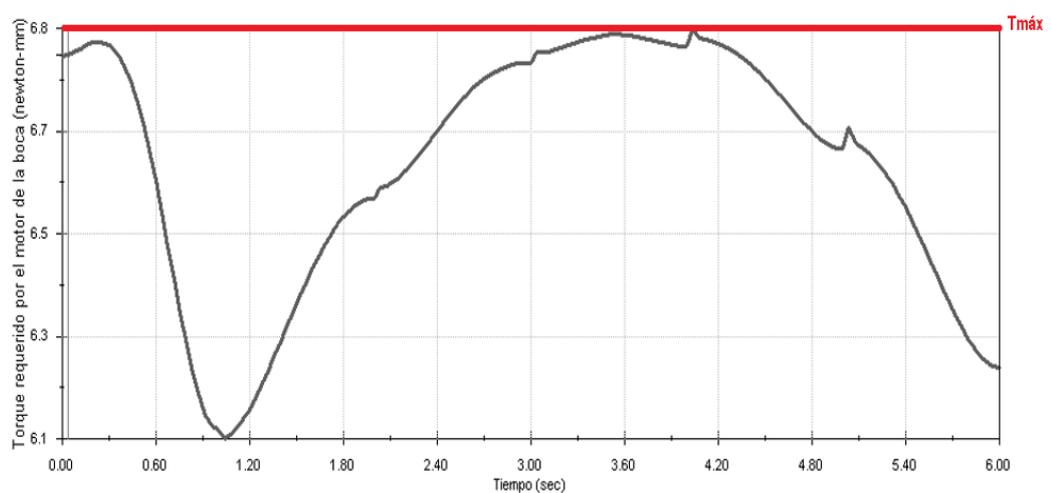


Figura 71 Torque requerido por Boca

$$T = 7[Nmm]$$

La capacidad del motor es:

$$T_{entrada} = 5T$$

$$T_{entrada} = 35[Nmm]$$

$$T_{entrada} = 0.1[Kgf.cm]$$

Diseño Mecánico

Soporte Boca
Material: Aluminio 1060
Geometría: Planos Anexos
Simulaciones:

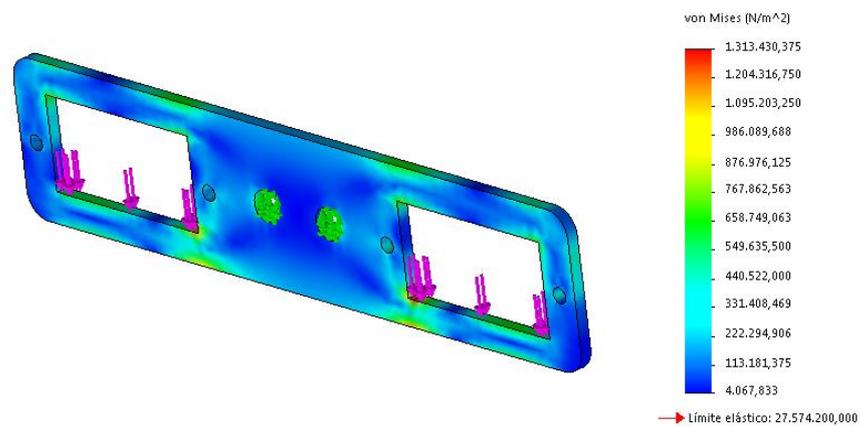


Figura 72 Esfuerzo de Von Mises de placa boca

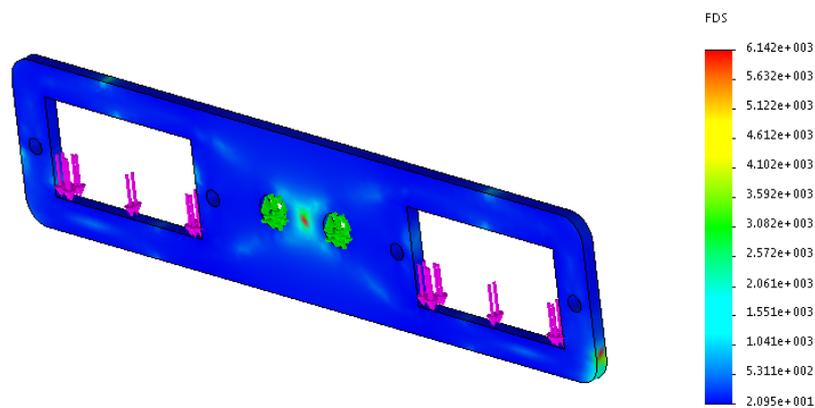


Figura 73 Factor de seguridad de placa boca

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos.

3.1.6.1.5. Sub-módulo Cuello

El cuello del robot está conformado por las partes que se aprecian en la Figura 74.

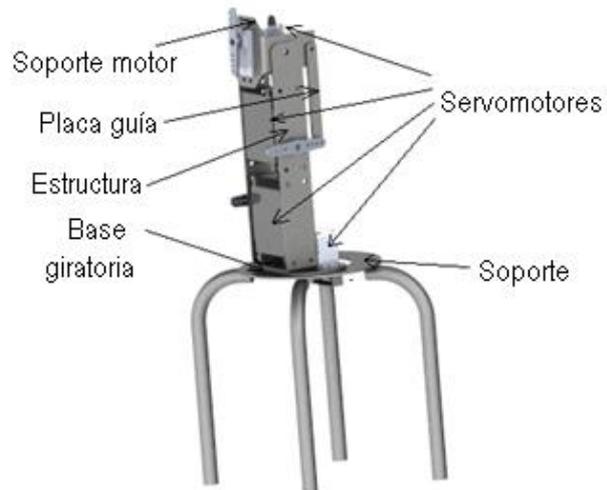
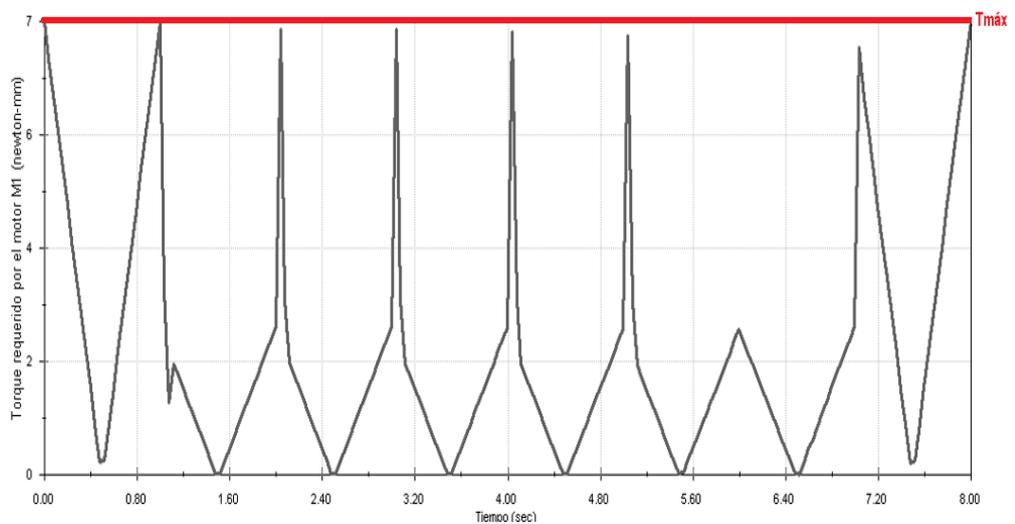


Figura 74 Partes del sub-módulo cuello

Diseño Eléctrico

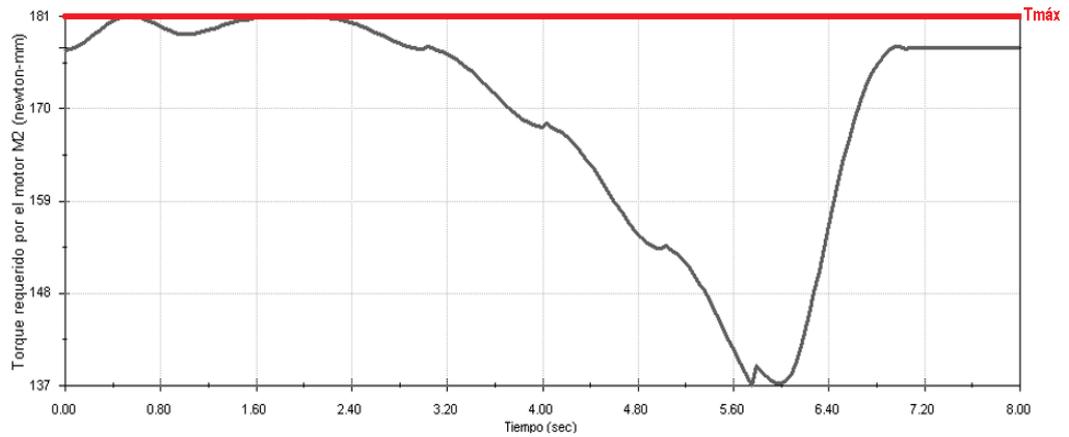
Gráfica de Torque requerido por el mecanismo



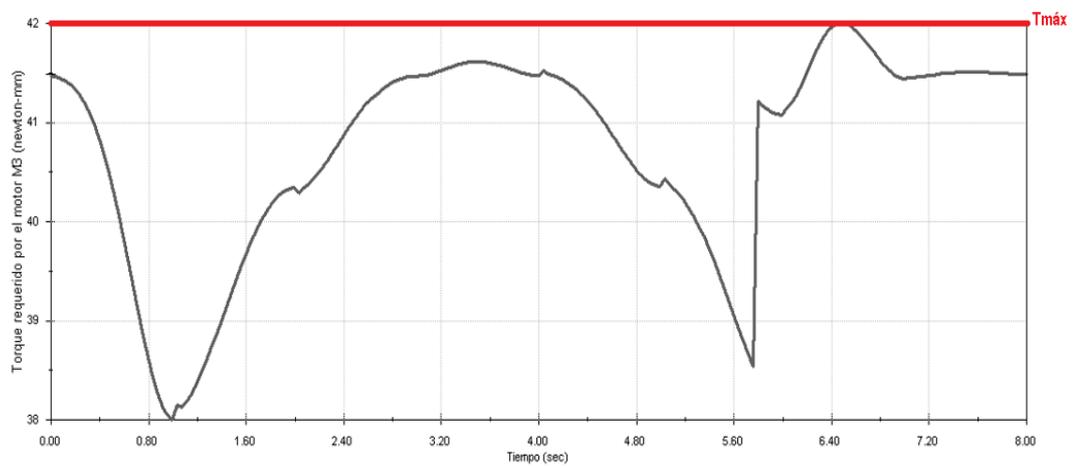
a)

continúa

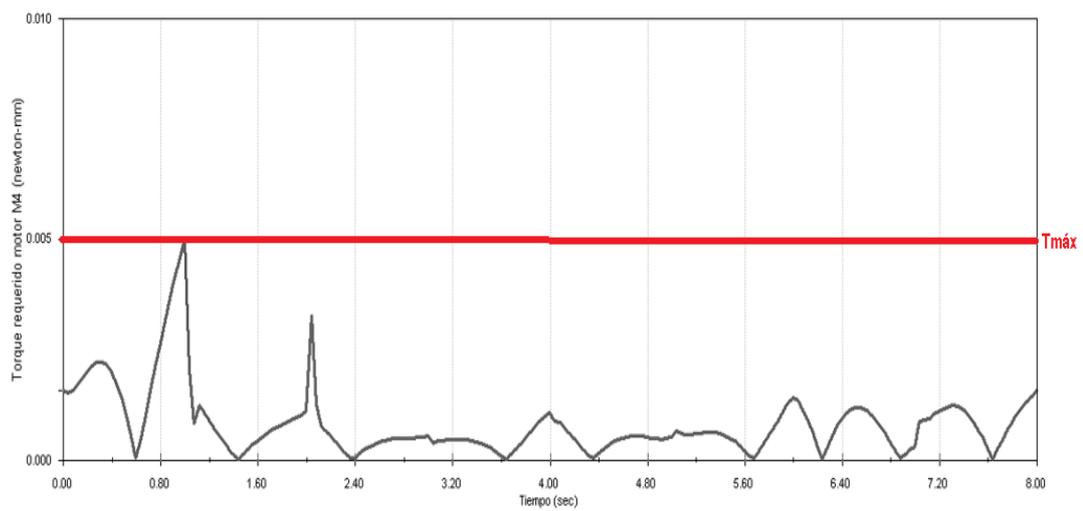




b)



c)



d)

Figura 75 Torque requerido por cuello a) Motor M1 b) Motor M2 c) Motor M3 d) Motor M4

$$T = 181 [Nmm]$$

La capacidad del motor es:

$$T_{entrada} = 5T$$

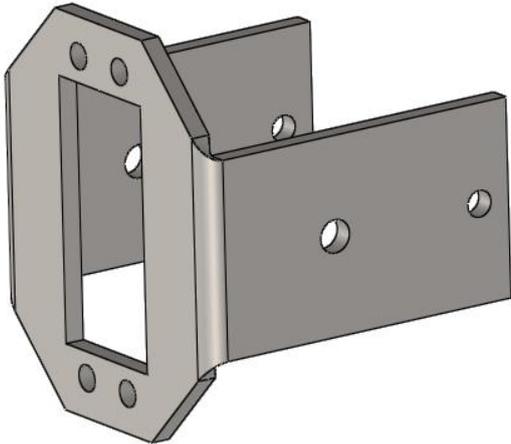
$$T_{entrada} = 905 [Nmm]$$

$$T_{entrada} = 9.18 [Kgf.cm]$$

Diseño Mecánico

Tabla 78

Chapas metálicas de interés sub-módulo cuello

Elemento	Denominación
	Placa Guía
	Soporte Motor

a) Placa Guía

Material: Tol negro 2 mm

Geometría: Planos Anexos

Simulaciones:

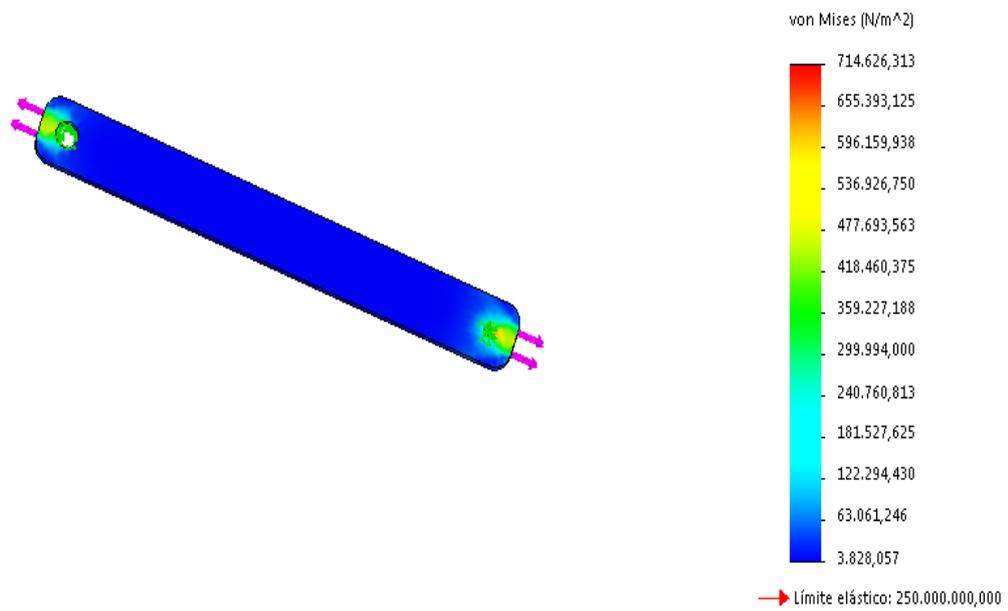


Figura 76 Esfuerzo de Von Mises de guía cuello

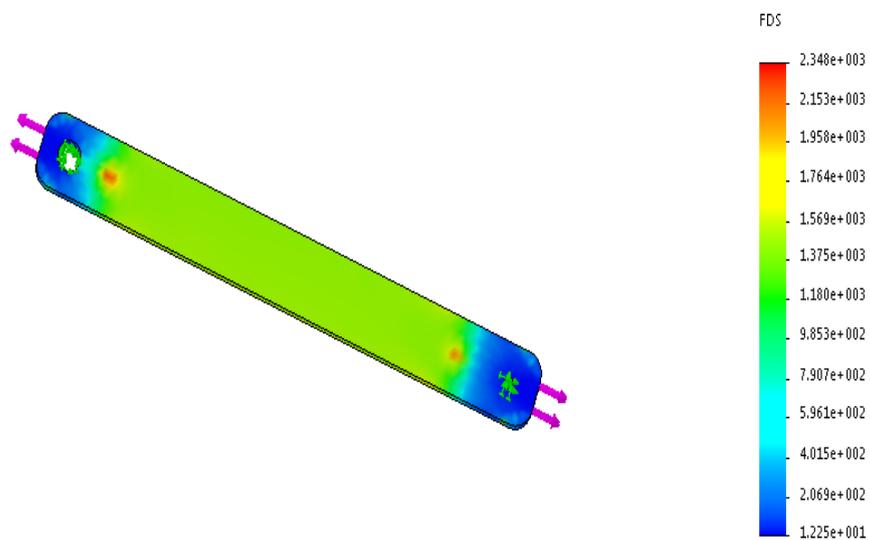


Figura 77 Factor de seguridad de guía cuello

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos.

b) Soporte motor

Material: Tol negro 2mm

Geometría: Planos Anexos

Simulación:

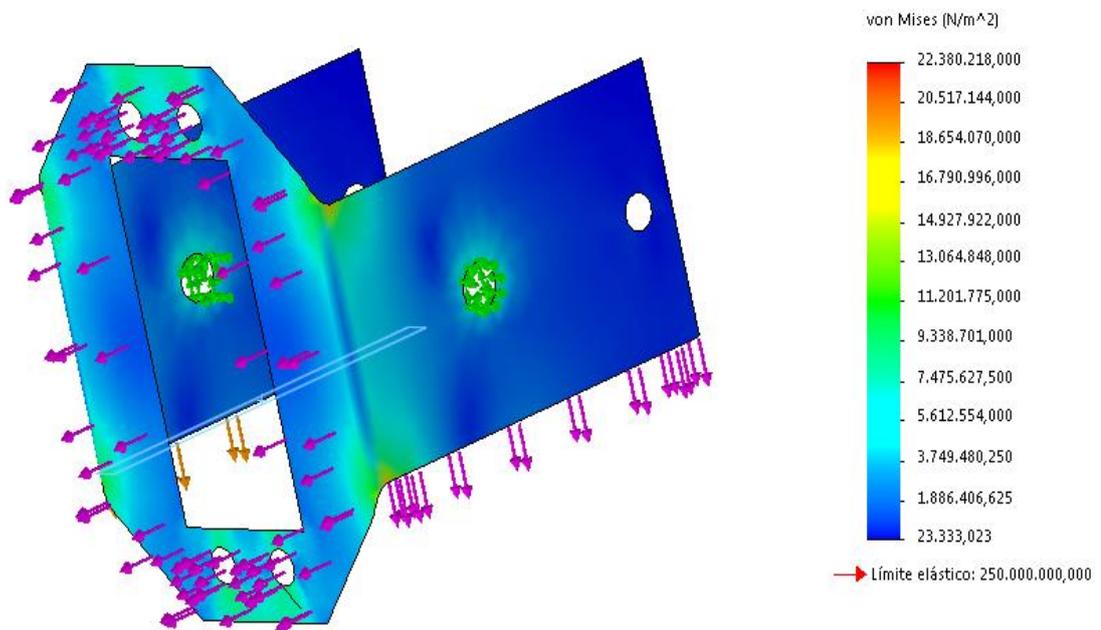


Figura 78 Esfuerzo de Von Mises de soporte cuello motor

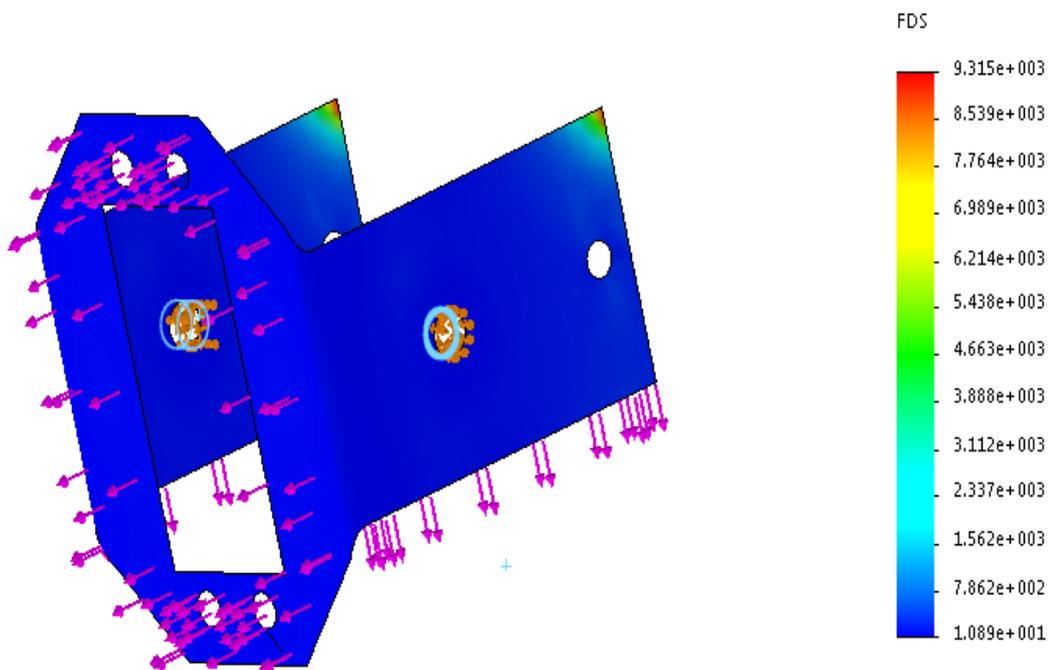


Figura 79 Factor de seguridad de soporte cuello motor

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos.

3.1.6.1.6. *Sub-módulo Estructura de soporte Interna*

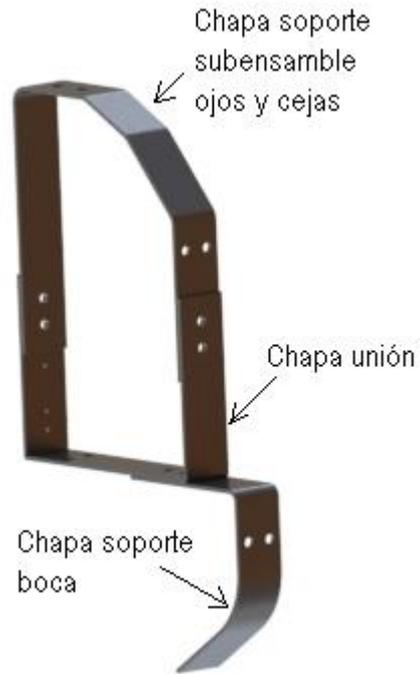


Figura 80 Partes del sub-módulo estructura interna

Diseño Mecánico

Tabla 79

Chapas metálicas de interés sub-módulo estructura de soporte interna

Elemento	Denominación
	Soporte Ojos y cejas

a) Soporte ojos y cejas

Material: Aluminio 1060
 Geometría: Planos Anexos
 Simulaciones:

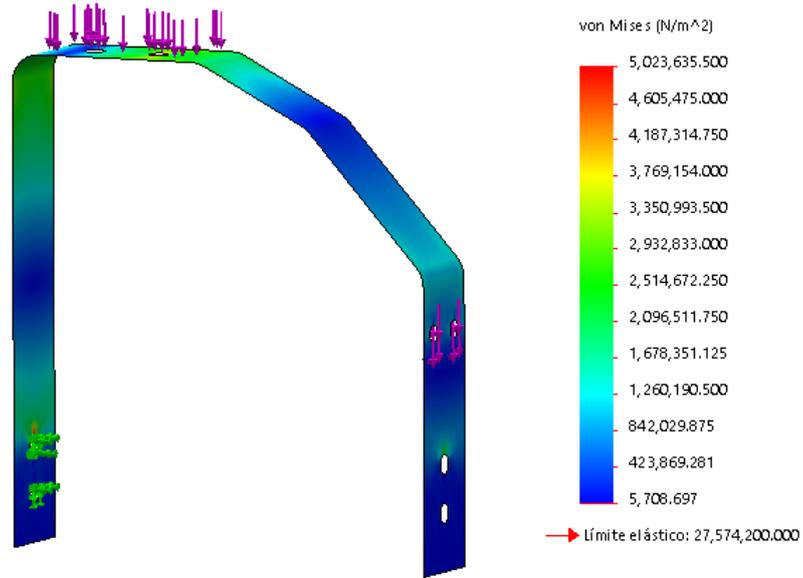


Figura 81 Esfuerzo de Von Mises para placa soporte ojos y cejas

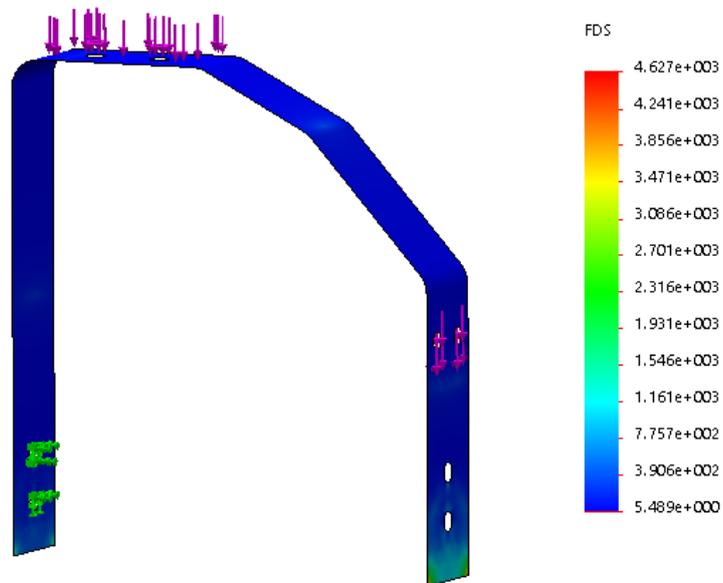


Figura 82 Factor de seguridad para placa soporte ojos y cejas

El diseño es válido el factor de seguridad es mayor a dos y el esfuerzo resultante es menor que el límite elástico del material.

3.1.6.2. Módulo Eléctrico y Electrónico

3.1.6.2.1. Sub-módulo Generación de movimiento

Las capacidades que deben poseer los servos utilizados en el módulo expresiones se observan enseguida en la Tabla 80.

Tabla 80
Capacidades requeridas para servo-motores

Sub-módulo	Capacidad requerida [Kgf. cm]	Número de motores
Ojos	0.134	4
Cejas	0.040	2
Boca	0.100	2
Cuello	9.100	4

Para los sub-módulos ojos, cejas y boca se utilizarán micro-servos HXT 900. Las características técnicas de estos actuadores se aprecian a continuación en la Figura 83.

Hextronik HXT900 - 9g Micro Servo	
Basic Information	
Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 22.2 oz-in (1.60 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.12 sec/60°
Weight:	0.32 oz (9.1 g)
Dimensions:	Length: 0.83 in (21.0 mm) Width: 0.47 in (12.0 mm) Height: 0.87 in (22.0 mm)
Motor Type:	Coreless
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Bushing
Additional Specifications	
Rotational Range:	60°
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	450-2450 μs
Connector Type:	JR

Figura 83 Datos técnicos micro-servo HXT-900

Fuente: (Hextronik Servos, 2016)

Los movimientos de girar cabeza de derecha a izquierda y rotar cara en sentido horario y anti horario serán realizados por el motor MG995, sus especificaciones se aprecian a continuación en la Figura 84

TowerPro MG995 Servo	
Basic Information	
Modulation:	Digital
Torque:	4.8V: 130.5 oz-in (9.40 kg-cm) 6.0V: 152.8 oz-in (11.00 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.20 sec/60° 6.0V: 0.16 sec/60°
Weight:	1.94 oz (55.0 g)
Dimensions:	Length: 1.60 in (40.7 mm) Width: 0.78 in (19.7 mm) Height: 1.69 in (42.9 mm)
Motor Type:	3-pole
Gear Type:	Metal
Rotation/Support:	? (add)
Special Notes	
<ul style="list-style-type: none"> This servo can be purchased with 180 or 360 degree rotation for robotics applications. 	
Additional Specifications	
Rotational Range:	? (add)
Pulse Cycle:	1 ms
Pulse Width:	? (add)
Connector Type:	JR

Figura 84 Datos técnicos servo MG995

Fuente: (Hextronik Servos, 2016)

El movimiento subir y bajar cabeza se ejecutará con un motor HS-755HB, cuyas características se visualizan en la Figura 85

Hitec HS-755HB	
Giant Scale Karbonite Servo	
Basic Information	
Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 153.0 oz-in (11.02 kg-cm) 6.0V: 183.0 oz-in (13.18 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.28 sec/60° 6.0V: 0.23 sec/60°
Weight:	3.88 oz (110.0 g)
Dimensions:	Length: 2.32 in (58.9 mm) Width: 1.14 in (29.0 mm) Height: 1.96 in (49.8 mm)
Motor Type:	3-pole
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Dual Bearings
Special Notes	
<ul style="list-style-type: none"> Hitec HS-755MG is the same servo, but with metal gears. 	
Additional Specifications	
Rotational Range:	180°
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	900-2100 μ s
Connector Type:	? (add)

Figura 85 Datos técnicos servo

Fuente: (Hextronik Servos, 2016)

3.1.6.2.2. Sub-módulo Control de actuadores

La SSC-32 es una tarjeta que permite el control de servo-motores, los cuales pueden moverse en conjunto o de manera individual. Las especificaciones de la tarjeta son las siguientes (Lynxmotion, 2013):

- Microcontrolador Atmel = ATMEGA168-20PU
- Velocidad de procesamiento de datos = 14,75 MHz
- Entrada serial = True RS-232 o TTL, 2400, 9600, 38.4k, 115.2k, N81
- Interfaz de PC = DB9F
- Interfaz de microcontrolador = Enchufe tipo header

- Servos controlados = hasta 32 servos se pueden conectar directamente
- Rango de recorrido del servo = 180 °
- Resolución del servo: 1uS, 0.09 °
- Control de movimiento servo = inmediata, temporizado, velocidad o sincronizada.
- Tamaño = 3.0 "x 2.3"
- Pico de corriente VS = máximo 15 amperios por cada lado
- VS corriente constante máx. 3-5 amperios por cada lado recomendados

En la Figura 86 se aprecian las partes de la tarjeta y a continuación una breve descripción de ellas, tomada del manual de usuario de la misma.

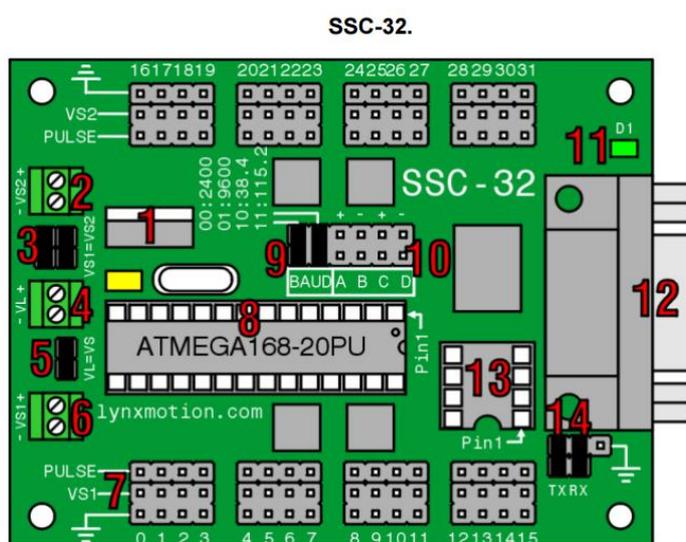


Figura 86 Partes de tarjeta SSC-32

Fuente: (Lynxmotion, 2013)

1. El regulador de tensión de baja caída (LDO)

Voltaje de entrada: máximo 9 voltios

Corriente nominal: 500mA

2. Este terminal es la alimentación de los canales de los servos (del 16 al 31)

Voltaje de entrada: 4,8 a 6 voltios CC para los servos analógicos y digitales

3. Jumpers VS1 = VS2

Se utilizan para conectar VS1 a VS2, si desea utilizar dos packs de pilas independientes, uno en cada lado; elimine estos dos jumpers.

4. Tensión lógica o VL

Es la alimentación para el microcontrolador del circuito.

Voltaje de entrada: 6-9vdc

5. Jumper VL=VS

Este jumper permite alimentar el microcontrolador y los servos desde la misma alimentación del conector VL. Este jumper debería eliminarse si se va a alimentar el microcontrolador de forma independiente.

6. Alimentación de los canales de los servos (del 0 al 15)

Voltaje de entrada: 4,8 a 6 voltios CC para los servos analógicos y digitales

7. Bus E/s

Aquí es donde tiene que conectar los servos.

8. Chip IC de Atmel

Deberá insertar con cuidado el Pin 1 con la esquina superior derecha como se indica en la imagen.

9. Las dos entradas de Baudios (BAUD)

Permiten configurar la tasa de baudios.

10. Entradas ABCD

Las entradas tienen resistencias internas de tipo pullup (50k) débiles que se utilizan con los comandos de entrada digital de lectura.

11. Este es el LED indicador del buen estado del procesador

12. Conector DB9

13. Zócalo EEPROM de 8 pines.

La EEPROM es compatible con el firmware 2.01GP.

14. Puerto serie a nivel TTL.

Utilizar la comunicación serie a nivel TTL desde un microcontrolador.

3.1.6.3. Módulo de Tele-operación

La tele-operación se realiza mediante una interfaz de usuario y por medio de un joystick como dispositivo periférico, este último se encuentra vinculado a la interfaz de forma directa. La interfaz tiene la función de enviar a los servos las posiciones requeridas e internamente recibe el mensaje de que dicha posición se ha alcanzado permitiendo así el esquema de tele-operación posición-posición.

La interfaz fue creada en Python, con la ayuda de la librería PyQt debido a que este lenguaje de programación es compatible con el sistema ROS, posee dos ventanas una de presentación (ver Figura 87) y una donde se muestra el panel de tele-operación como se muestra en la Figura 88.



Figura 87 Pestaña de Presentación de la Interfaz Gráfica



Figura 88 Pestaña de Tele-operación de la Interfaz Gráfica

La ventana de tele-operación permite controlar las expresiones del robot ya sea por botones de la interfaz gráfica o por joystick, además permite abrir y cerrar la cámara que se encuentra en la nariz del robot para observar a la persona que interactúa con el mismo; en el lado derecho de la pantalla se aprecia un cuadro de diálogo donde el usuario puede escribir las frases a decir durante la interacción.

En la sección expresiones del panel de tele-operación, en el control por interfaz gráfica se pueden apreciar las emociones disponibles, con su representación correspondiente, las cuales se especifican en la Tabla 81.

Tabla 81

Representación de emociones para la interfaz gráfica

		
Feliz	Triste	Sorprendido
		
Enojado	Dudoso	Dormido
		
Neutro		

El control por joystick se realizará con un dispositivo inalámbrico, los botones ejecutarán las expresiones mostradas en la Figura 89.

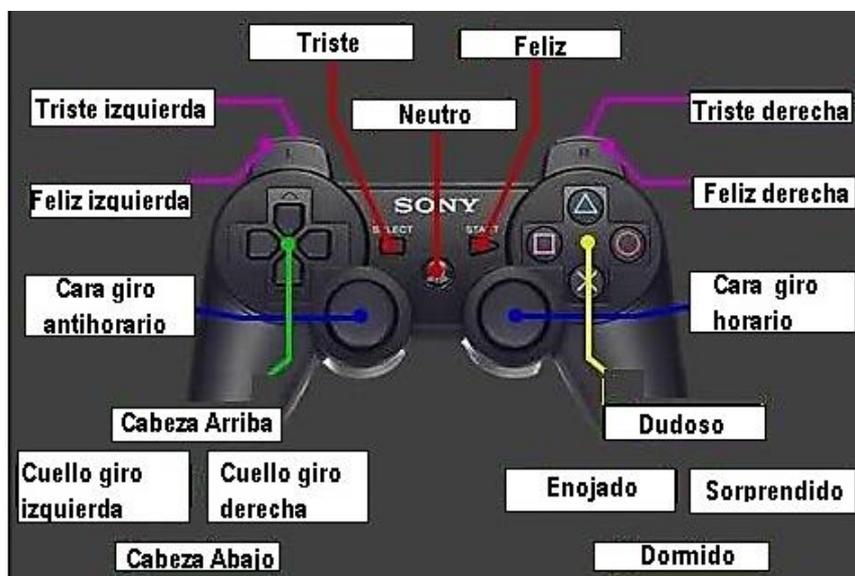


Figura 89 Especificación de expresiones en Joystick

3.1.6.4. Módulo de Control

El sistema operativo ROS trabaja de forma modular, está formado por una red de procesos ejecutables o nodos, que se relacionan entre sí por vías o tópicos, por donde se envían y reciben mensajes. La red creada para el control del robot se ilustra en la Figura 90.

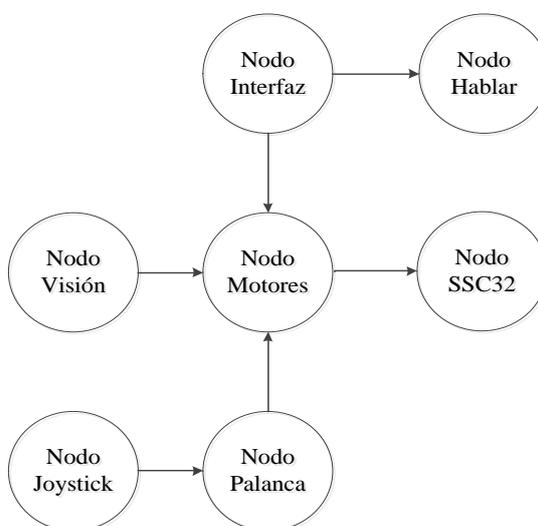
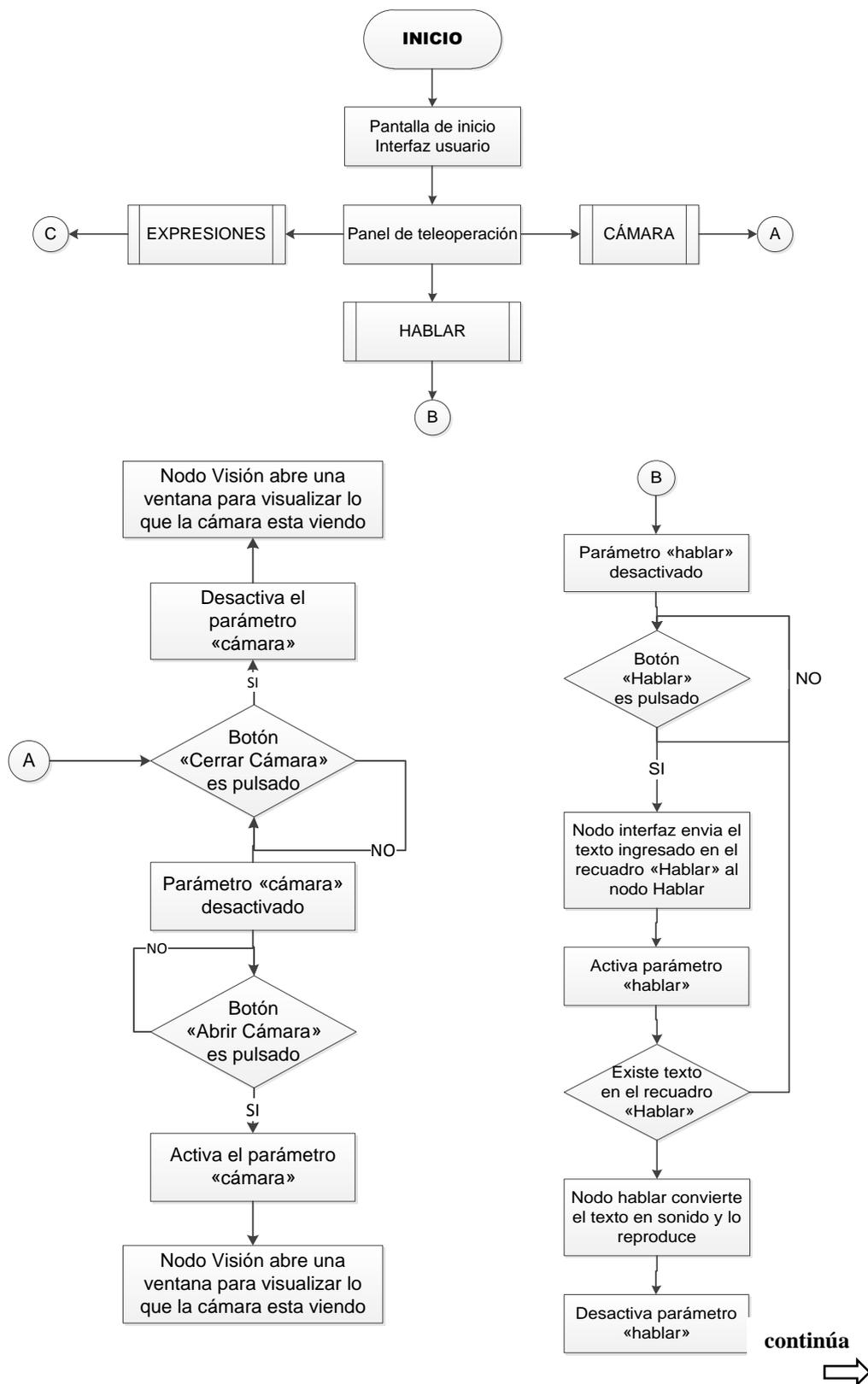


Figura 90 Esquema de nodos

La programación utilizada para el control del robot social se describe a través del diagrama de flujo mostrado en la figura 91.



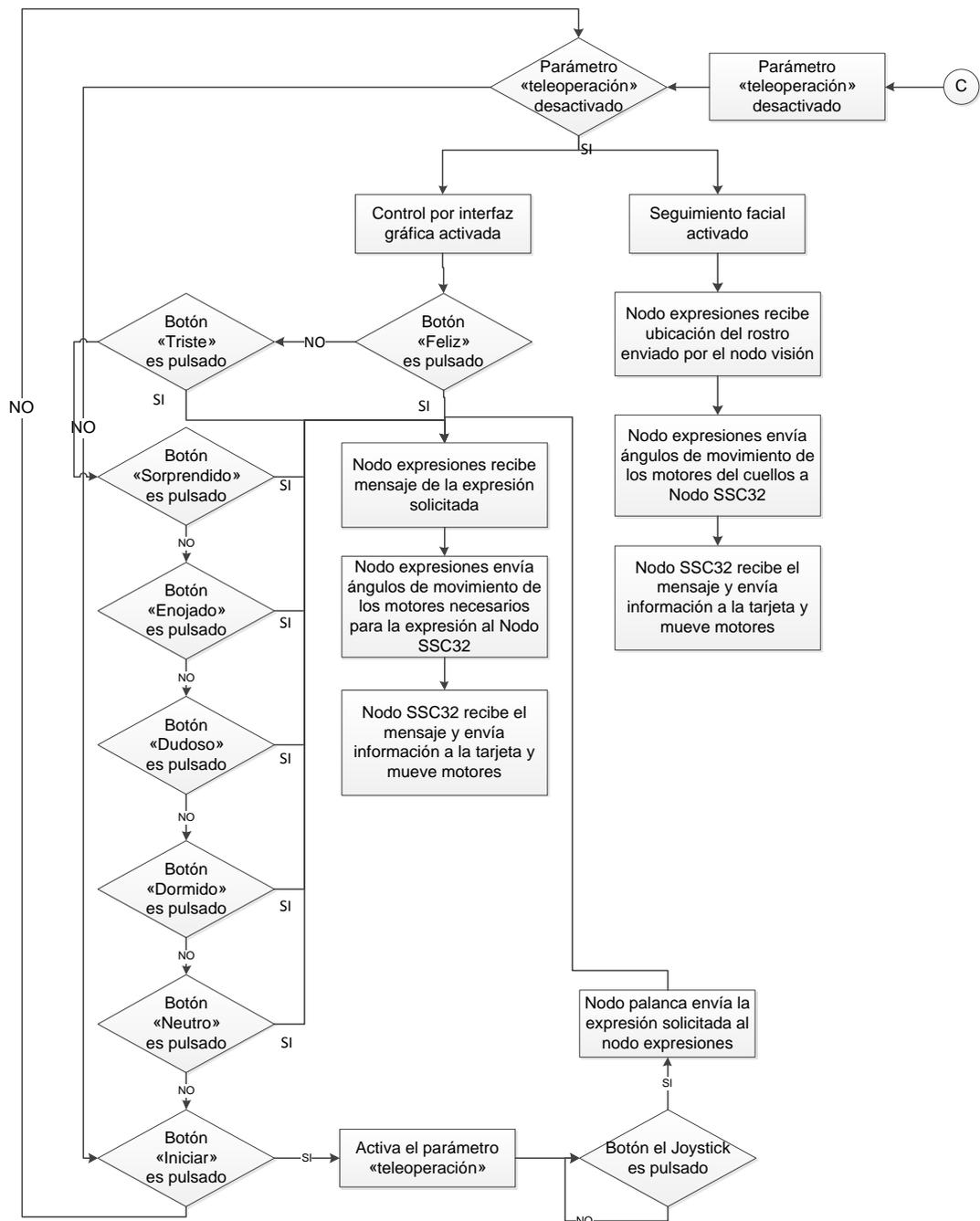


Figura 91 Diagrama de flujo control Cody

3.1.6.4.1. Nodo 1. Nodo interfaz

El nodo *interfaz* es el medio por el cual se desarrolla la tele-operación. Es el medio de activación de los parámetros propios del Ros para abrir o cerrar la cámara, activar o desactivar el joystick y para emitir voces.

3.1.6.4.2. *Nodo 2. Nodo hablar*

Este nodo es el encargado de la conversión de texto a voz, utilizando una conexión con el convertidor de texto y el proyecto m-brola, emite los sonidos de lo escrito en el cuadro de texto ubicado en la interfaz gráfica.

3.1.6.4.3. *Nodo 3. Nodo Motores*

Para dar origen a las expresiones, los diferentes motores deben moverse a una posición específica. El nodo *motores* guarda cada una de estas posiciones, cuando el nodo interfaz o el nodo palanca envían un mensaje indicando la expresión que se desea generar, este nodo recibe esta información y envía la posición de cada motor al nodo SSC32 y de esta manera se ejecuta la expresión.

Por otro lado, si el modo tracking está activado, recibe información del nodo visión para dar movimiento a los motores del cuello en función de la ubicación de la persona con la que se está interactuando.

3.1.6.4.4. *Nodo 4. Nodo Visión*

Utilizando la biblioteca OpenCV, es el encargado de la detección de rostros, información que es enviada al nodo *motores* para que el robot realice el tracking.

3.1.6.4.5. *Nodo 5. Nodo Palanca*

Puede describirse a este nodo como un nodo traductor, debido a que su función es interpretar las señales enviadas por el nodo *Joystick* para posteriormente enviarla al nodo *motores*, encargado de generar las expresiones en el robot.

3.1.6.4.6. *Nodo 6. Nodo Joystick*

Nodo propio de entorno de Ros, convierte la señales enviadas por el la palanca joystick en una serie de vectores cuyos componentes representan cada uno de los botones de la palanca

3.1.6.4.7. *Nodo 7. Nodo SSC32*

Perteneciente a la biblioteca propia de la tarjeta SSC32 Servo-controller, envía la información desde el computador a la tarjeta para generar las señales PWM que ponen en funcionamiento a los motores.

3.1.6.5. *Módulo de Alimentación Eléctrica*

Las necesidades energéticas a satisfacer son las del módulo eléctrico y electrónico las cuales se aprecian en la Tabla 82 como sigue:

Tabla 82

Necesidades energéticas del módulo eléctrico y electrónico

Sub-módulo	Voltaje[V]	Corriente [A]
Generación de movimiento	5	2
Control de Actuadores	6	0.250

El robot tendrá dos fuentes energéticas, una para los servomotores de que entregará 5 voltios y máximo 2 amperios y otra para la tarjeta de control de 6 voltios y máximo 500 mA.

3.1.6.6. *Módulo de Visión*

El módulo de visión, encargado del reconocimiento facial para el desarrollo del tracking o seguimiento, se lo desarrollara utilizando la librería de visión artificial de libre uso OpenCV, compatible con el sistema operativo ROS. Para ello se utilizara el algoritmo Haar, propio de la librería.

El algoritmo Haar busca en la imagen obtenida por la cámara combinaciones de patrones que juntos pueden asemejarse a un rostro, como se puede observar en la Figura 92. Estos patrones de comparación son almacenados en un archivo .XML que contiene los modelos de lo que se quiere detectar, ya sean rostros, animales, frutos u otros.

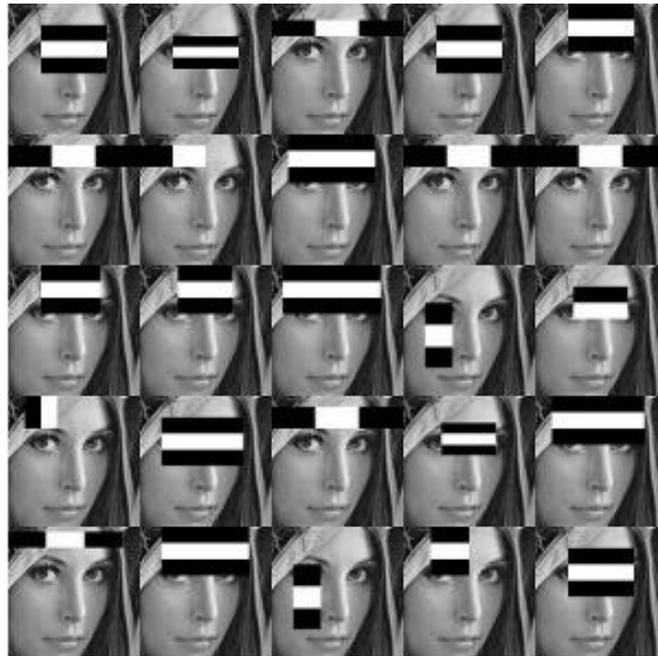


Figura 92 Comportamiento de los patrones del algoritmo Haar

Fuente: (ROBOLOGS, 2014)

Cámara

El tipo de cámara que mejor se ajusta a nuestros requerimientos es una cámara inteligente. Por lo cual hemos seleccionado una cámara Modelo ATW-1200 (Figura 93). Una cámara web considerada inteligente por características adicionales a las convencionales como la transmisión vía web, incorporación de micrófonos, y otros.



Figura 93 Cámara Acteck 1200

Fuente: (ACTECK, 2016)

Las características de esta cámara son:

- Cámara web marca acteck
- Modelo atw-1200 / lwva-001 (lynx view hd)
- Color negro
- Interface USB
- Resolución de 1280 x 720p (hd)
- Sensor c,ps 1/4"
- Velocidad de transmisión: 640 x 480 30 cuadros x segundo
- 1280 x 720 28 cuadros x segundo
- Distancia de imagen: 5 cm al infinito
- Balance automático de blancos
- Micrófono integrado
- Botón para tomar fotografías
- Cuenta con base de clip para montar en lap o monitor plano
- Compatible con sistemas operativos: xp/vista/7/Linux

3.1.7. *Concepto final.*

Llamaremos al robot Cody, nombre que significa que es un ente abierto, jovial, hospitalario y amistoso. Cody es un robot social diseñado para interacción

humano- máquina, consta de un sistema mecatrónico organizado en una arquitectura modular, que le permite el fácil repuesto y cambio de los elementos que lo componen.

Físicamente hablando, el robot tiene dos etapas una interna y una externa. La etapa interna comprende los mecanismos que le permitirán expresar emociones, se aprecia en la Figura 94, y la etapa externa comprende la apariencia de oso panda del robot. Los planos respectivos se encuentran en el anexo 2.



Figura 94 Etapa física interna de Cody

El robot está controlado en su totalidad por el sistema ROS, donde el usuario puede acceder a una interfaz gráfica, Figura 95, donde se encuentra el panel de teleoperación. El panel permite hacer hablar al robot y controlar las expresiones del mismo ya sea por interfaz gráfica o por el uso de un joystick. Si la opción escogida es la primera, se podrá visualizar en la cámara una detección de rostros y un posterior tracking de los mismos si fuese necesario; si se escoge la opción de joystick el usuario tendrá que posicionar el robot para ver a la persona con la que se interactúa.



Figura 95 Interfaz gráfica de Cody

Resumen

El capítulo contemplo el diseño mecatrónico de Cody, el robot social para interacción humano-máquina.

El robot está conformado por siete módulos que satisfacen las necesidades del diseño estos son: expresiones, eléctrico y electrónico, tele-operación, control, alimentación eléctrica, visión y conversación.

- El módulo de expresiones consta de la forma de oso panda, ojos, cejas, boca, cuello y estructura interna de soporte.
- Los servo-motores y la tarjeta SSC-32 constituyen el módulo eléctrico y electrónico.
- La tele-operación se realiza mediante un joystick y la interfaz gráfica del robot.
- El módulo de control está basado en la plataforma ROS, la cual tendrá siete nodos denominados *interfaz*, *hablar*, *visión*, *motores*, *SSC32*, *joystick* y *palanca*.
- El módulo visión se realizará mediante OpenCV

- El módulo conversación se realizará mediante el convertidor de texto a voz m-brola.
- El módulo alimentación eléctrica consta de dos fuentes de poder una para alimentar a los servo-motores y otra para su tarjeta de control.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

El capítulo desarrolla el proceso de construcción del robot y los resultados de las pruebas de funcionamiento del mismo.

4.1.Construcción

4.1.1. Construcción de la estructura interna

Para iniciar la construcción se imprimirán las piezas en 3D en plástico ABS, las piezas impresas son las cejas, ojos, párpados superior e inferior y globos oculares. Las chapas metálicas diseñadas serán realizadas en dos materiales aluminio 1060 y tol negro, el primero se utilizará en los sub-módulos cejas, ojos, boca y estructura interna de soporte, el tol se ocupará para la fabricación de las chapas del cuello.

Las imágenes mostradas a continuación muestran las piezas de cada sub-módulo:

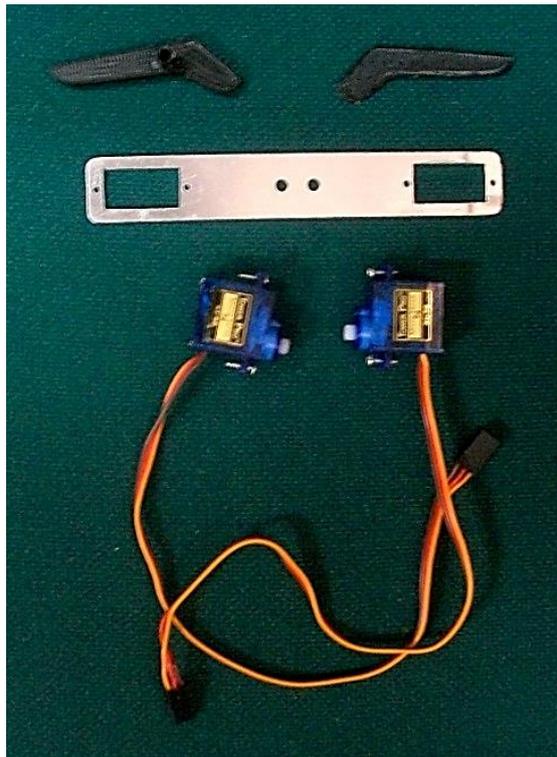


Figura 96 Elementos sub-módulo Cejas

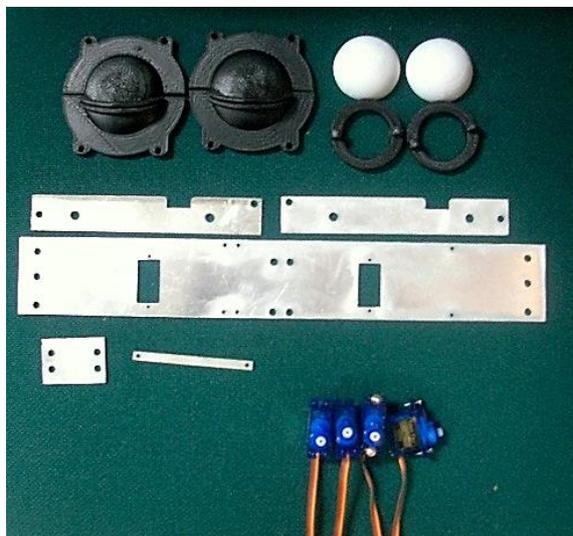


Figura 97 Elementos sub-módulo Ojos

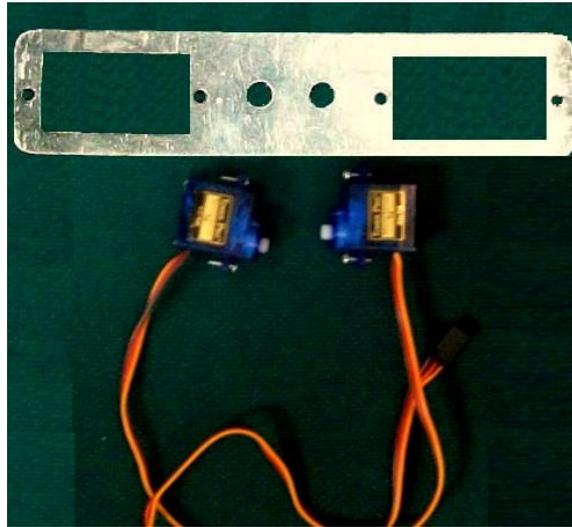


Figura 98 Elementos sub-módulo Boca



Figura 99 Elementos sub-módulo Cuello

Una vez que se tienen todos los elementos a ensamblar listos, en primer lugar se arman los sub-módulos cejas, ojos y boca para luego unirlos a las placas soporte de la cabeza como se muestra en la Figura 100.



Figura 100 Ensamblaje de ojos, cejas y boca

Luego de asegurar las chapas y servomotores, se pega el cuerpo de las cejas, los globos oculares y los párpados, el resultado se aprecia en la Figura 101.



Figura 101 Ensamble completo de cabeza

A continuación se construye el cuello del robot, se sueldan los tubos a la placa base, se empernan las chapas y colocan los motores, obteniendo en consecuencia la estructura de la Figura 102.



Figura 102 Ensamble Cuello

Se procede a unir el ensamble cabeza con el ensamble cuello, obteniendo la estructura interna del robot apreciable en la Figura 103.



**Figura 103 Ensamble estructura interna
(cuello y cabeza)**

Para una fácil conexión a la tarjeta de control de servo motores, se etiqueta los cables de los mismos y se los agrupa en un organizador de cable como se puede observar en la Figura 104.



Figura 104 Estructura interna con cables de servo-motores etiquetados y organizados

Cada servo se conecta a la tarjeta de control en los números correspondientes según la Tabla 83. El diagrama de conexión se observa en la Figura 105.

Tabla 83

Asignación de motores a pines de tarjeta SSC-32

Denominación	Etiqueta	Pin de tarjeta
Motor 1 (Base)	M1	1
Motor 2I (Cuello izquierda)	M2I	15
Motor 2D (Cuello derecha)	M2D	12
Motor 3 (Giro cabeza horario-anti horario)	M3	16
Motor de párpado derecho	PD	24
Motor de párpado izquierdo	PI	20
Motor de globo ocular derecho	OD	19
Motor de globo ocular izquierdo	OI	23
Motor de ceja derecha	CD	28
Motor de ceja izquierda	CI	31
Motor de labio extremo derecho	LD	4
Motor de labio extremo izquierdo	LI	8

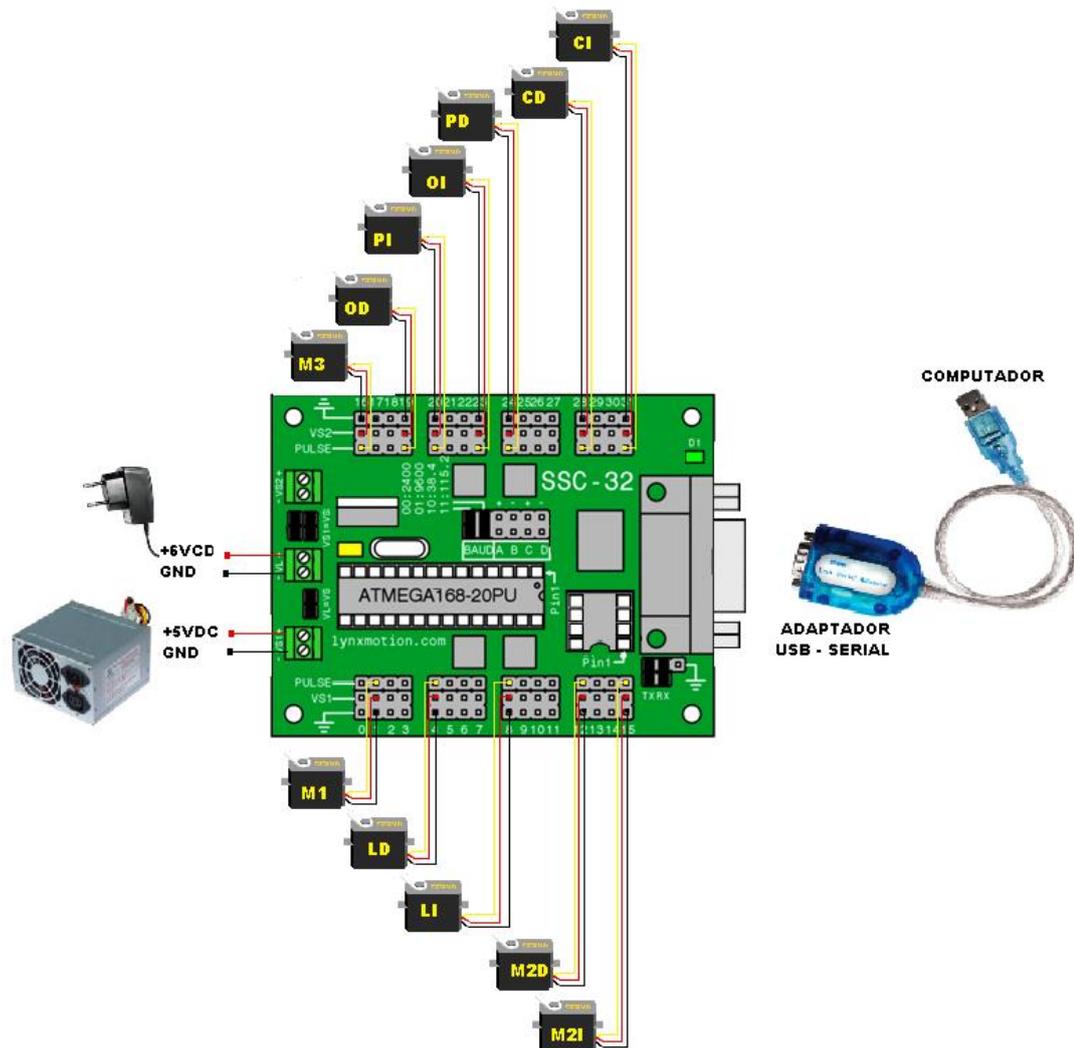


Figura 105 Diagrama de conexión tarjeta SSC-32

4.1.2. Construcción de la estructura externa

La estructura externa se refiere a la apariencia de oso panda del robot. Como primer paso se realiza un cuerpo a base de mallas metálicas y una cabeza con cartón, ver Figura 106, en esta última se perforan agujeros que calcen con los ojos, cámara y boca de la estructura interna del robot.



Figura 106 Cuerpo en base a mallas metálicas y cabeza de cartón

Como segundo paso se procede a tomar medidas y formas primarias, como se observa en la Figura 107, para crear el diseño en tela con ayuda de un profesional en corte y confección.



Figura 107 Toma de medidas y formas primitivas de la apariencia del robot

El producto finalizado se aprecia en la Figura 108 a continuación:



Figura 108 Cody apariencia completa

4.2. Costos

Los costos del proyecto involucran materiales, componentes electrónicos, manufactura e ingeniería. En la Tabla 84 mostrada a continuación se detalla el costo de cada uno de los elementos.

Tabla 84

Costos del proyecto

ESTRUCTURA INTERNA	
Producto	Precio
Tuercas de seguridad	0,13
Pernos	11,27
Brocas	2,48
Corte en agua placas de tol	38,16

continúa


Corte en agua placas de aluminio	16,8
Abrasaderas	2
Pegatanque	7
Tubo base	2,5
Bisagra	0,5
Cable acero	1,35
Caucho boca	3,5
Impresiones 3D	40
Subtotal estructura interna	125,69
ESTRUCTURA EXTERNA	
Tela	14,7
Malla metalica	2,5
Diseño y costura	85
Césped sintético	3
Placa base	10
Subtotal estructura externa	115,2
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	
Microservos	51,43
Servomotores	48
Fuente de poder	15
Cables	5
Cámara web	20
Joystick	20
Tarjeta SSC32	60
Subtotal componentes electrónicos	219,43
COMPONENTES VARIOS	
Silicona	0,71
Organizador de cables	2,32
Taipe	0,6
Estaño	1
Brujita	0,5
Etiquetas	1,35
Subtotal componentes varios	6,48
INGENIERÍA	
Costos de ingeniería	2000
Subtotal ingeniería	2000
TOTAL	2466,8

4.3. Pruebas

4.3.1. Dimensionales

Esta prueba fue realizada antes de ensamblar los elementos de la estructura interna del robot, consiste en verificar si los elementos fabricados cumplen las medidas requeridas por el diseño. Los resultados obtenidos se visualizan en la Tabla 85.

Tabla 85

Resultados de prueba dimensional de elementos

Elemento	Dimensiones Nominales Código de plano	Dimensiones Evaluadas	Estado
Pata soporte	CODY-SE.SOPORTE-01	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Base	CODY-SE.SOPORTE-02	Geometría	Aprobado
Soporte husillo	CODY-SE.SOPORTE-03	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Base	CODY-SE.CUELLO-01	Geometría	Aprobado
Columna servo	CODY-SE.CUELLO-02	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Caja servo	CODY-SE.CUELLO-03	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Guía 1	CODY-SE.CUELLO-04	Geometría	Aprobado
Guía 2	CODY-SE.CUELLO-05	Geometría	Aprobado
Placa inferior	CODY-SE.CARA-01	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Placa intermedio	CODY-SE.CARA-02	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Placa superior	CODY-SE.CARA-03	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Soporte ojo derecho	CODY-SE.OJOS-01	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Soporte ojo izquierdo	CODY-SE.OJOS-02	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Placa soporte para	CODY-SE.OJOS-03	Geometría	Aprobado

continúa



micro-servos		Doblez	Aprobado
Soporte en C para sujeción de micro-servos	CODY-SE.OJOS-04	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Sujeción A	CODY-SE.OJOS-05	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Sujeción B	CODY-SE.OJOS-06	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Sujeción C	CODY-SE.OJOS-07	Geometría	Aprobado
		Doblez	Aprobado
Globo ocular	CODY-SE.OJOS-08	Geometría	Aprobado
Párpado superior	CODY-SE.OJOS-09	Geometría	Aprobado
Párpado inferior	CODY-SE.OJOS-10	Geometría	Aprobado
Soporte cejas	CODY-SE.CEJAS-01	Geometría	Aprobado
Soporte boca	CODY-SE.BOCA-01	Geometría	Aprobado

4.3.2. Funcionamiento

4.3.2.1. Movimiento

Los movimientos y su coordinación fueron evaluados al culminar el ensamble de la estructura interna del robot (primera prueba) y al implementar la estructura externa completa (segunda prueba), los resultados se aprecian en las tablas siguientes.

Tabla 86

Primera prueba de movimiento

Movimiento	Ángulos evaluados (°)	Evaluación	Observaciones
Giro de izquierda a derecha de cabeza del robot	-90	Aprobada	
	-45	Aprobada	
	0	Aprobada	
	45	Aprobada	
	90	Aprobada	
Subir y bajar cabeza	-30	Reprobada	Colisión, redefinir
	-15	Reprobada	Colisión, redefinir
	0	Aprobada	

continúa



	15	Aprobada	
	30	Aprobada	
Giro horario y anti-horario de cara del robot	-30	Aprobada	
	-15	Aprobada	
	0	Aprobada	
	15	Aprobada	
	30	Aprobada	
	Abrir y cerrar ojos	-90	Aprobada
-45		Aprobada	
0		Aprobada	
Mover ojos	-90	Aprobada	
Mirar arriba y abajo	-45	Aprobada	
	0	Aprobada	
	-45	Reprobada	Colisión, redefinir
Mover cejas	-15	Aprobada	
	0	Aprobada	
	15	Aprobada	
	45	Reprobada	Colisión, redefinir
	45	Reprobada	Truncamiento, redefinir
Mover boca	30	Aprobada	
	15	Aprobada	
	0	Aprobada	
	-15	Aprobada	
	-30	Aprobada	
	-45	Reprobada	Truncamiento, redefinir

Una vez que se ha redefinido los ángulos permitidos se realiza la corrección a la prueba anterior los resultados se muestran a continuación en la Tabla 87:

Tabla 87

Corrección de la primera prueba de movimiento

Movimiento	Ángulos evaluados(°)	Evaluación	Observaciones
Giro de izquierda a derecha de cabeza del robot	-90	Aprobada	
	-45	Aprobada	
	0	Aprobada	
	45	Aprobada	
	90	Aprobada	
Subir y bajar	-10	Aprobada	

continúa



cabeza	0	Aprobada
	15	Aprobada
	30	Aprobada
Giro horario y anti-horario de cara del robot	-30	Aprobada
	-15	Aprobada
	0	Aprobada
	15	Aprobada
	30	Aprobada
Abrir y cerrar ojos	-90	Aprobada
	-45	Aprobada
	0	Aprobada
Mover ojos	-90	Aprobada
Mirar arriba y abajo	-45	Aprobada
	0	Aprobada
	-30	Aprobada
Mover cejas	-15	Aprobada
	0	Aprobada
	15	Aprobada
	30	Aprobada
	30	Aprobada
Mover boca	15	Aprobada
	0	Aprobada
	-15	Aprobada
	-30	Aprobada
	-30	Aprobada

Tabla 88**Segunda prueba de movimiento**

Movimiento	Ángulos evaluados(°)	Evaluación	Observaciones
Giro de izquierda a derecha de cabeza del robot	-50	Aprobada	
	-25	Aprobada	
	0	Aprobada	
	25	Aprobada	
	50	Aprobada	
Subir y bajar cabeza	-10	Aprobada	
	0	Aprobada	

continúa



	15	Aprobada
	30	Aprobada
	-30	Aprobada
	-15	Aprobada
Giro horario y anti-horario de cara del robot	0	Aprobada
	15	Aprobada
	30	Aprobada
	-90	Aprobada
Abrir y cerrar ojos	-45	Aprobada
	0	Aprobada
	-90	Aprobada
Mover ojos Mirar arriba y abajo	-45	Aprobada
	0	Aprobada
	-30	Aprobada
Mover cejas	-15	Aprobada
	0	Aprobada
	15	Aprobada
	30	Aprobada
	30	Aprobada
Mover boca	15	Aprobada
	0	Aprobada
	-15	Aprobada
	-30	Aprobada
	-30	Aprobada

4.3.2.2. Expresiones

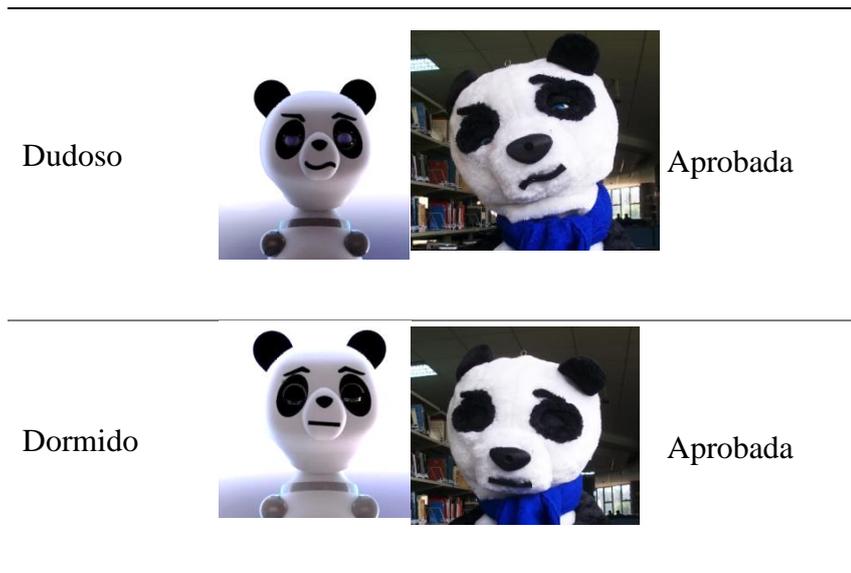
Para asegurar que el robot es expresivo se tele-operaron sus expresiones mediante el uso del joystick, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 89 siguiente:

Tabla 89
Prueba de expresiones en Cody

Expresión	Expresión esperada	Expresión obtenida	Evaluación
Feliz			Aprobada
Triste			Aprobada
Asombrado			Aprobada
Enojado			Aprobada
Neutro			Aprobada

continúa





4.3.2.3. *Detección y seguimiento de rostros*

En esta prueba se validó la capacidad del robot para detectar rostros, para posteriormente seguirlos. La cámara se abrió mediante la pantalla de Cody, se utilizó el modo tele-operación por medio de interfaz ya que en ella el posicionamiento del robot se realiza mediante el tracking de rostros. Los resultados de la prueba se ven en la Figura 109



Figura 109 Collage de detección y seguimiento de rostros

Los rangos de los movimientos del cuello del robot junto con la programación satisfacen las necesidades de detección y seguimiento de rostros, en todo momento el robot mira con quién está interactuando.

4.3.2.4. *Tiempo de comunicación interfaz y módulos de acción*

Para esta prueba se midió el tiempo transcurrido entre el envío de señales desde la interfaz hasta los nodos que ejecutan los movimientos.

Tabla 90
Prueba de tiempo de respuesta

N°	Señal	Tiempo (s)	Evaluación
1	Generación de emociones por interfaz	Inmediato	Aprobada
2	Generación de movimiento por joystick	Inmediato	Aprobada
3	Detección de rostro	Inmediato	Aprobada
4	Generación de sonido	Inmediato	Aprobada

4.3.2.5. *Coste computacional: Recursos de computador requeridos por la aplicación*

El análisis parte de la gráfica del administrador de tareas de la computadora en la que se ha implementado la aplicación.

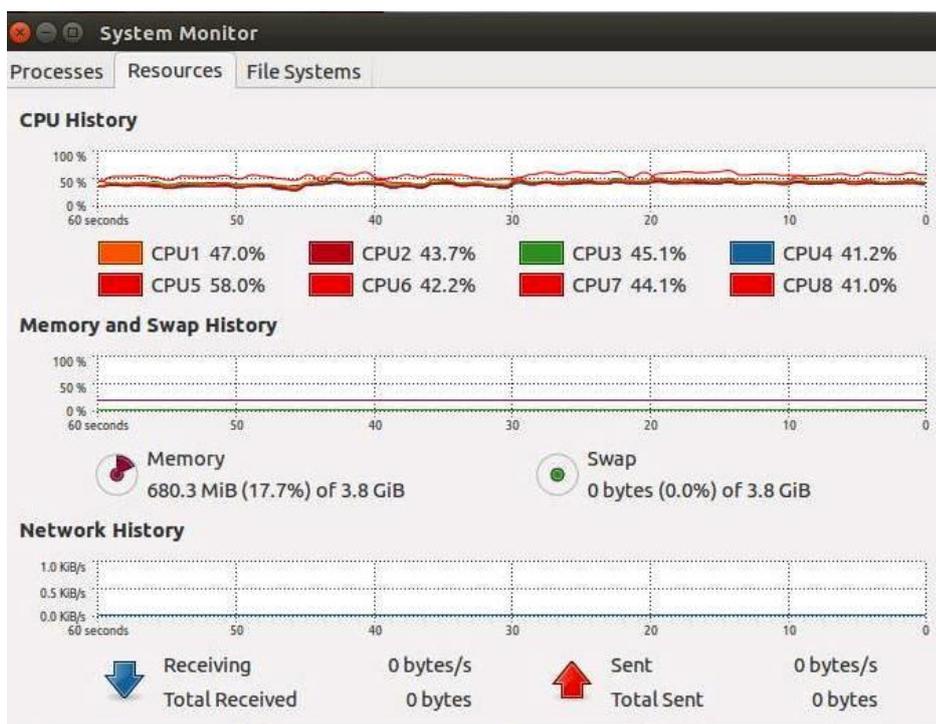


Figura 110 Rendimiento exigido por la aplicación

Se observa que el control del robot exige un 17.7% de memoria.

4.3.3. Interacción

Se realizó un experimento con un grupo de 25 personas de diferentes edades, en la Figura 111, se muestra la interacción con una niña de 3 años. Después de la interacción cada una de estas personas completó una encuesta para evaluar apariencia, seguimiento facial, interacción, naturalidad de los movimientos y el interés de repetir la experiencia. Se evaluó también la claridad de las expresiones logradas por el robot, al realizar un ejercicio donde la persona selecciona la palabra que más se asemeja a la expresión que el robot está mostrando. La Tabla 91 describe los resultados obtenidos en la encuesta



Figura 111 Prueba de interacción con una niña de 3 años

Tabla 91

Resultados de la encuesta

Características de los encuestados				
GÉNERO				
Masculino		Femenino		
10		15		
EDAD				
Menos de 12 años	Entre 13 y 24 años	Entre 25 y 37 años	Entre 38 y 50 años	Más de 51 años
5	5	5	5	5
Pregunta 1: ¿Considera que el robot tiene una apariencia agradable?				
SI		NO		
23		2		
Pregunta 2: Durante la interacción ¿Siente que el robot lo está mirando?				
SI		NO		
21		4		
Pregunta 3: Calificaría la interacción como:				
MUY BUENA	BUENA		MALA	

continúa



5	16	4
---	----	---

Pregunta 4: Los movimientos del robot son:

RAPIDOS	NATURALES	LENTOS
0	19	6

Pregunta 5: ¿Entiende lo que el robot le está diciendo?

Si, es muy claro todo lo que dice	Si, aunque hay palabras que no se distinguen	No, no se entiende nada
12	9	4

Pregunta 6: ¿Volvería a entablar una conversación con el robot en futuras ocasiones?

SI	NO
23	2

Prueba de expresiones

	Feliz	Triste	Sorprendido	Dudoso	Enojado	Dormido	Respuesta correcta	Respuesta incorrecta
Dudoso	0	0	0	25	0	0	25	0
Sorprendido	0	0	20	0	5	0	20	5
Dormido	0	0	0	0	0	25	25	0
Enojado	0	0	0	0	25	0	25	0
Feliz	17	0	4	4	0	0	17	8
Triste	0	25	0	0	0	0	25	0

El diagrama de barras de la Figura 112 muestra los resultados de la pregunta 1 relacionada con la apariencia del robot, por sus resultados podemos concluir que el robot tiene una apariencia agradable.

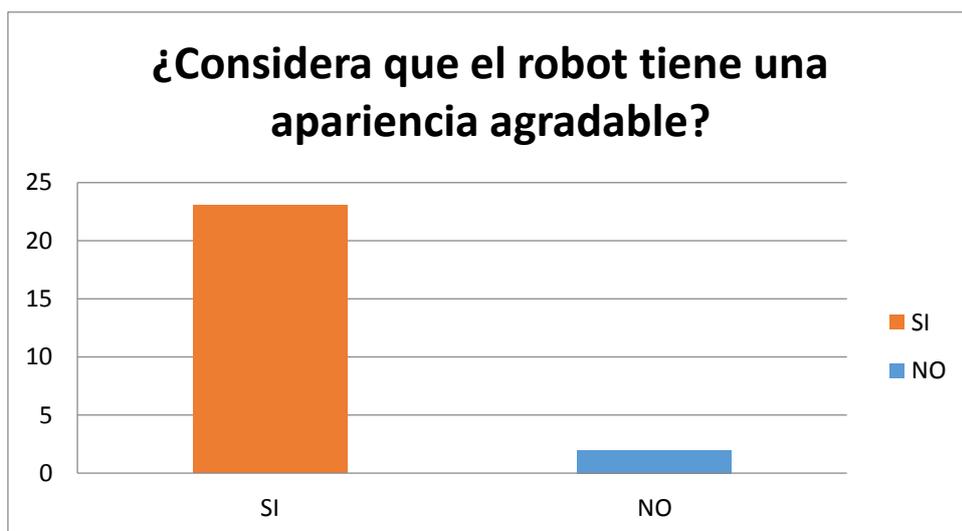


Figura 112 Diagrama de barras pregunta 1 de la encuesta

El diagrama de barras de la Figura 113 muestra los resultados de la pregunta 2 relacionada con el seguimiento facial, si la persona siente que el robot lo está mirando a cada momento, el robot ha movido de manera adecuada su cabeza de manera que esta de frente a la persona con la que esta interactuando. Los resultados de esta pregunta muestran que el seguimiento facial se ha desarrollado de manera correcta.

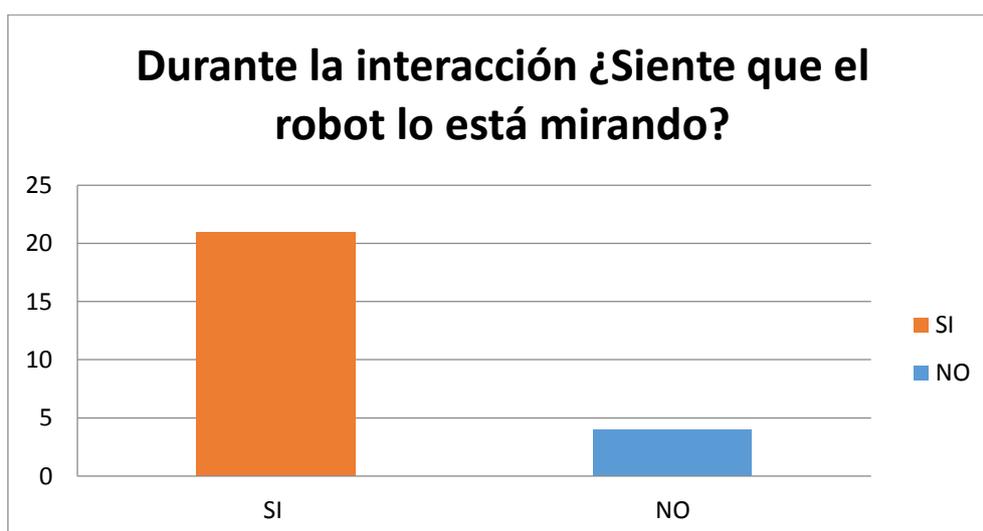


Figura 113 Diagrama de barras pregunta 2 de la encuesta

El diagrama de barras de la Figura 114 muestra los resultados de la pregunta 3 relacionada con la interacción, 16 de las 25 personas encuestadas la describen como buena.

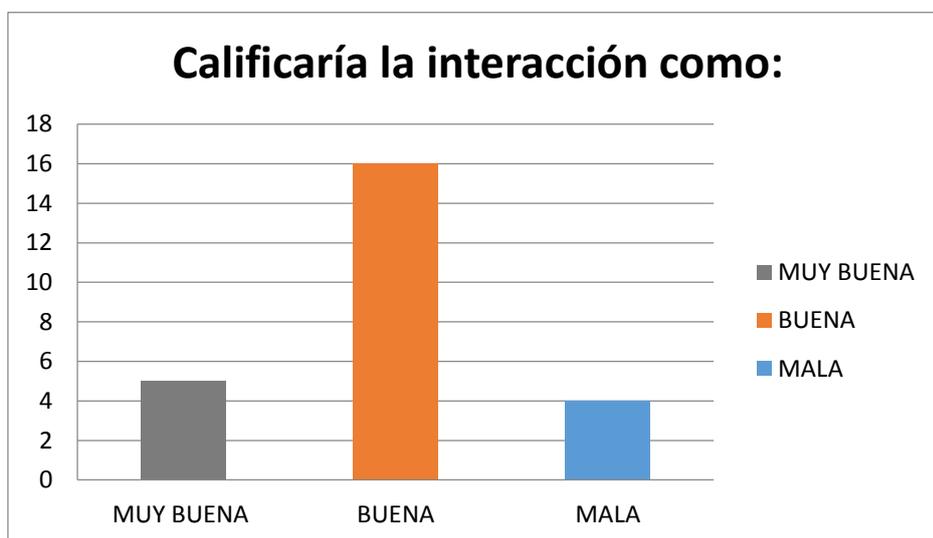


Figura 114 Diagrama de barras pregunta 3 de la encuesta

El diagrama de barras de la Figura 115 muestra los resultados de la pregunta 4 relacionada con el movimiento del robot, el 76% de los encuestados califica los movimientos como naturales, por lo que podemos decir que la velocidad y sincronización de los motores son adecuadas.

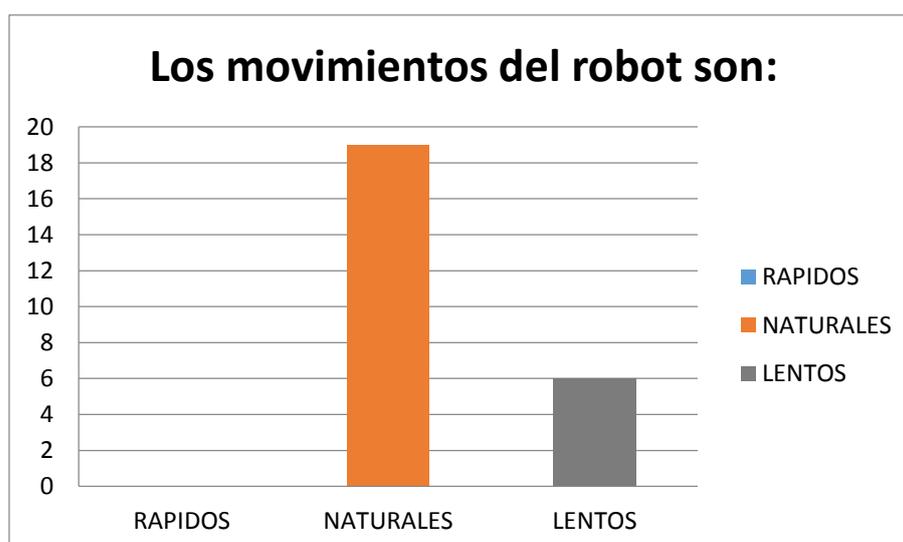


Figura 115 Diagrama de barras pregunta 4 de la encuesta

El diagrama de barras de la Figura 116 muestra los resultados de la pregunta 5 relacionada con la voz del robot, el 48% de las personas indica que es claro lo que dice, siendo este porcentaje menos a la mitad podemos decir que son necesarias mejoras futuras en este módulo del robot.

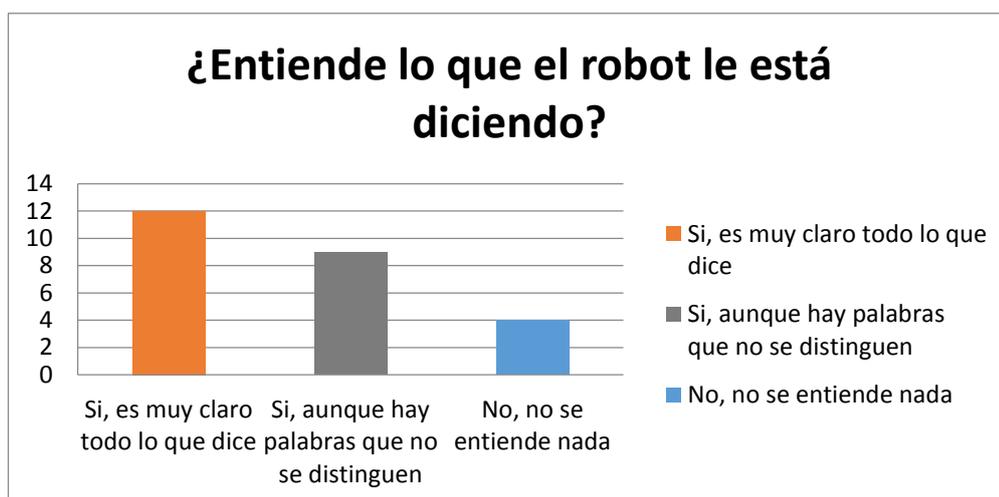


Figura 116 Diagrama de barras pregunta 5 de la encuesta

El diagrama de barras de la Figura 117 muestra los resultados de la pregunta 6 que también relacionan a la interacción, con un porcentaje bastante alto de aceptación para una nueva interacción, podemos describir que la experiencia fue bastante agradable para las personas.

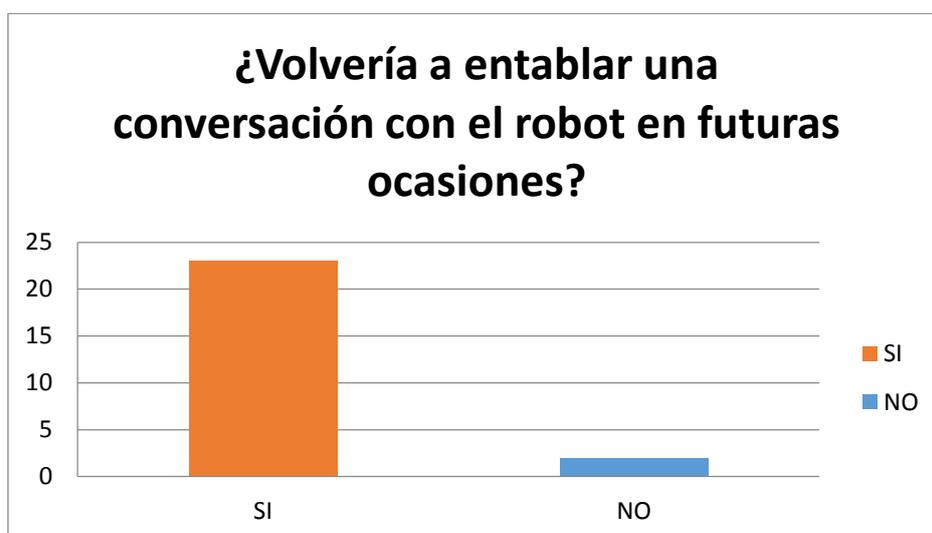


Figura 117 Diagrama de barras pregunta 6 de la encuesta

La Figura 118 ilustra los resultados obtenidos durante la prueba de expresión, todas las expresiones del robot fueron correctamente marcadas en un porcentaje bastante alto, podemos decir entonces que las expresiones del robot son bastantes claras.

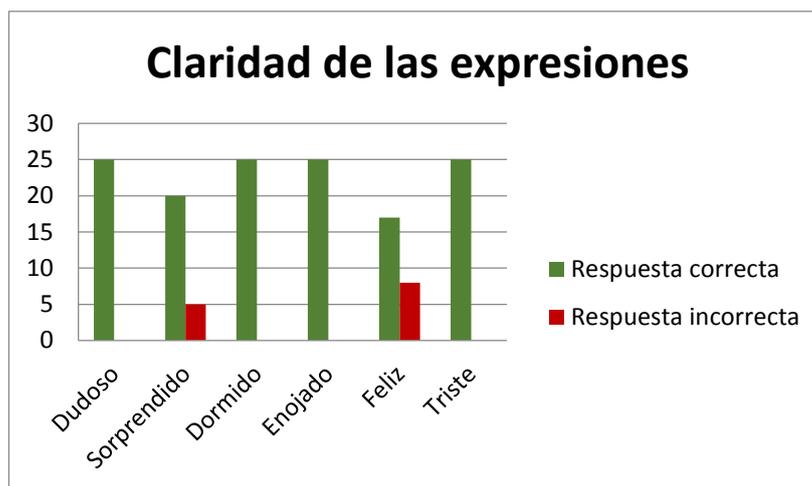


Figura 118 Diagrama de barras prueba de expresiones

Resumen

El capítulo describió el proceso de ensamblaje del oso Cody. Para su estructura interna se inició detallando cada uno de los elementos que forman parte de los diferentes sub-módulos del robot y posteriormente el ensamble completo. Continuando con la estructura externa se muestra el proceso de fabricación estética para dar origen a la imagen del robot. Con el robot ya construido se genera el detalle del costo final.

Una vez culminada la implementación del robot se procede a describir cada una de las pruebas realizadas para verificar el alcance de los objetivos planteados. Entre las pruebas realizadas se encuentran: verificación de dimensiones, movimientos, expresiones, tele-operación, seguimiento de rostro e interacción, obteniendo resultados satisfactorios.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para finalizar el proyecto en general, el presente capítulo establece las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de la realización del mismo.

5.1. Conclusiones

- El producto del presente proyecto es un oso panda robot teleoperado, que responde a los principios de la robótica social, por lo tanto el robot es capaz de interactuar y comunicarse con los humanos, esto lo realiza mediante gestos, movimientos y sonidos. El robot lleva por nombre Cody, significa “ser servicial” con esto se ha individualizado al robot y el trato hacia éste, es decir, las personas que interactúan con él lo tratan como un quién y no como un qué. Cody puede realizar siete expresiones, estas son: feliz, triste, dudoso, enojado, sorprendido, neutral y dormido, además su cuello posee grados de libertad que le permiten realizar un correcto seguimiento de rostros.
- La arquitectura modular del robot, forma un sistema abierto donde cada elemento funcional puede ser reemplazado, sin que esto exija un cambio en los demás elementos de Cody. El robot está conformado por siete módulos funcionales que satisfacen las necesidades del diseño estos son: expresiones, eléctrico y electrónico, tele-operación, control, alimentación eléctrica, visión y conversación.
- El diseño mecánico se presenta en el módulo de expresiones, este consta de la forma de oso panda, ojos, cejas, boca, cuello y estructura interna de soporte. La estructura interna del robot está formada por chapas metálicas, fabricadas de aluminio para la cabeza y tol negro

para el cuello, los ojos y cejas fueron impresos en plástico ABS y la forma de oso se encuentra realizada a base de tela y felpa. El panda robótico pesa 4Kg y ocupa un espacio de 40x40 x 80 cm, datos concordantes con los parámetros carga manual en la norma INEN.

- El diseño eléctrico y electrónico constituye un módulo del mismo nombre y el módulo de alimentación eléctrica. El módulo eléctrico y electrónico consta de una red de 11 servo-motores controlados por una tarjeta SSC32 a una velocidad de procesamiento de 14.75 MHz. Cody dispone de dos fuentes de alimentación DC, una para la tarjeta SSC32 de 6 voltios a 500 mA y otra para los servo-motores de 5 voltios a 2 A.
- El robot está controlado en su totalidad por el sistema ROS, donde el usuario puede acceder a la interfaz gráfica del robot (Figura 95), esta cuenta con un panel de tele-operación. El panel permite hacer hablar al robot y controlar las expresiones del mismo ya sea por interfaz gráfica o por el uso de un joystick. Si la opción escogida es la primera, se podrá visualizar en la cámara una detección de rostros y un posterior tracking de los mismos si fuese necesario; si se escoge la opción de joystick el usuario tendrá que posicionar el robot para ver a la persona con la que se interactúa. El robot habla gracias a la librería m-brola y detecta rostros mediante OpenCV.
- La utilización del sistema operativo robótico ROS permitió elaborar un entorno de control del robot social con dos modos de tele-operación: una tele-operación utilizando interfaz y una tele-operación utilizando un dispositivo externo de control (Joystick). Es importante resaltar que los entornos proporcionados por el sistema operativo ROS facilitaron la comunicación y coordinación de los siete nodos de control implementados estos son: *interfaz*, *hablar*, *visión*, *motores*, *SSC32*, *joystick* y *palanca*.

- Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento y de interacción revelan resultados satisfactorios.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que se sigan generando proyectos en el campo de la robótica social, ya que los robots sociales pueden ser aplicados en varios escenarios como el hogar, publicidad, museos, y rehabilitación a seres humanos.
- La arquitectura modular diseñada en el presente proyecto permite la incorporación de mayor número de funciones. El robot social desarrollado cumple con funciones básicas de generación de movimiento para dar origen a las expresiones básicas descritas en la Tabla 89, aumentar grados de libertad con la incorporación de movimiento en las extremidades del robot puede lograr mayor naturalidad y mejorar la experiencia durante la interacción.
- El proyecto desarrollado es un robot tele-operado, dotar al robot de autonomía con la utilización de inteligencia artificial puede ser un punto de partida para futuras investigaciones.
- Mejorar el módulo del habla del oso robótico, con la incorporación de voces caricaturescas y modulación clara, añadiendo el uso de consonantes propias del lenguaje castellano como la “ñ” y “ll” para proporcionar mayor fluidez en la comunicación.
- Explorar nuevas herramientas del sistema operativo robótico ROS que permitan mejorar el rendimiento de la aplicación y proporcionar a su vez mayor funcionalidad en el desarrollo de nuevos proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Breazeal , C., & Aryananda, L. (2002). Recognition of affective communicative intent in robot- directed speech. *Autonomous Robots*, 83-104.
- Breazeal , C., & Brooks, R. (2004). *Who Needs Emotions: The Brain Meets the Robot, ch. Robot Emotion: A Functional Perspective*. MIT Press.
- Breazeal, C., Buchsbaum, D., Gray, J., & Gaten, D. (2005). Learning from and about others: Towards using imitation to bootstrap the social understanding of others by robots. *Artificial Life*, 1-32.
- Carletti, E. J. (2015). *Motores paso a paso*. Obtenido de Robots Argentina: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm
- FEELIX GROWING Consortium. (2010). *FEELIX GROWING*. Obtenido de FEELIX GROWING: <http://homepages.herts.ac.uk/~felix/>
- Gadanho , S., & Custodio, L. (2002). Asynchronous learning by emotions and cognition. *Animals to Animats VII, Proceedings of the Seventh International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*. Edinburgo,UK: SAB'02.
- Hextronik Servos. (2016). *Servo Database: Hextronik*. Obtenido de Servo Database: <http://www.servodatabase.com/servo/hextronik/hxt900>
- Hollinger, G. A. (2006). *Design of a Social Mobile Robot Using Emotion-Based Decision Mechanisms*. Pittsburgh,: The Robotics Institute Carnegie Mellon University. Obtenido de <http://cs.colby.edu/maxwell/papers/pdfs/Hollinger-et-al-IROS-2006.pdf>
- Johnson Electric. (2015). *Productos: Motor de corriente continua*. Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.es/prod/johnson-electric/product-665-470175.html>
- Pala, M., Lorencik , D., & Sincak, P. (Noviembre de 2012). *Towards the robotic teleoperation systems in education*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de http://www.academia.edu/2436597/Towards_the_robotic_teleoperation_systems_in_education

- Peláez Malagón, J. E. (2002). Historia de la Caricatura. *Proyecto Clío*. Obtenido de <http://clio.rediris.es/arte/caricaturas/caricatura.htm>
- ACTECK. (2016). Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de <http://www.acteck.com.mx/producto.php?id=LVWA-001&fam=LIVE%20IT>
- Aliaga, I. (diciembre de 2000). *La teleoperación*. Recuperado el 15 de septiembre de 2015, de <http://www4.tecnun.es/asignaturas/control1/proyectos/teleop2D/autor.htm>
- Alvarez, M. (2012). Modelo matemático de un motor de corriente continua separadamente excitado: Control de velocidad por corriente de armadura. *Latin-American Journal of Physics Education*. Obtenido de http://www.lajpe.org/mar12/25_LAJPE_611_Manuel_Alvarez_preprint_corr_f.pdf
- Arduino. (2015). *Arduino: SensorShield*. Obtenido de Arduino-Info: <https://arduino-info.wikispaces.com/SensorShield>
- ASIMO. (2015). *History of ASIMO*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de <http://asimo.honda.com/asimo-history/>
- Asimov, I. (1942). *Runaround*. Estados Unidos: Street & Smith.
- Astudillo, C., López, H., & Sotomayor, N. (2014). Ensamblaje y control de un rostro robótico que simule los movimientos de un rostro humano. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ATR Hiroshi Ishiguro Laboratory. (2010). *Telenoid*. Japón: Advanced Telecommunications Research Institute International .
- Avila-García, O., & Cañamero, L. (2005). Hormonal modulation of perception in motivation-based action selection architectures. En *Proceedings of the Symposium on Agents that Want and Like: Motivational and Emotional Roots of Cognition and Action* (págs. 9-16). SSAISB.
- Barcelona, C. G. (02 de Octubre de 2014). *PRIMER ROBOT ECUATORIANO "MASHI 2.01" DISEÑADO EN BARCELONA POR ECUATORIANOS*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de <http://barcelona.consulado.gob.ec/es/primer-robot-ecuadoriano-mashi-2-01-disenado-en-barcelona-por-ecuatorianos/>

- BBC MUNDO. (2007). Robots que aprenden emociones. *BBC NEWS*. Obtenido de http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_6391000/6391007.stm
- BBVA. (2002). *BBVA*. Recuperado el 01 de septiembre de 2015, de Innovacion para la vida con robots terapeuticos: Paro: https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/static/pdf/25_SHIBATA_ESP.pdf
- beatbots. (2014). *keepon Pro*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de <http://keeponpro.beatbots.net/>
- Bermejo, S. (2003). *Desarrollo de robots basados en el comportamiento*. Barcelona: CPET.
- Blue Point Engineering. (19 de Noviembre de 2007). Recuperado el 25 de Febrero de 20016, de <http://www.bpesolutions.com/>
- Blumberg, B., Todd, P., & Maes, P. (1996). *No Bad Dogs: Ethological Lessons for Learning in Hamsterdam*.
- Bosker, B. (26 de octubre de 2012). *Elderly Say Bring On The Robots- Just Not As Friends*. Obtenido de Huff Post Tech: http://www.huffingtonpost.com/2012/10/26/elderly-robots_n_2022846.htm
- Breazeal, C. (2000). *Sociable machines: Expressive social exchange between humans and robots. PhD thesis*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Breazeal, C. (2015). *JIBO*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de <https://www.jibo.com/>
- Breazeal, C. (s.f.). *Kismet, el robot*. Recuperado el 7 de septiembre de 2015, de <http://www.ai.mit.edu/projects/sociable/baby-bits.html>
- Breazeal, C. L. (2004). *Designing Sociable Robots*. MIT Press.
- Bricogeek. (2015). *Productos: Servomotores*. Obtenido de Bricogeek: <http://tienda.bricogeek.com/43-servomotores>
- Burgos Cid, F. (2014). SISTEMA DE APRENDIZAJE EMOCIONAL PARA LA INTERACCION HOMBRE-ROBOT BASADO EN CAPACIDADES EMOCIONALES. Recuperado el 2015
- Cameron, R. (12 de octubre de 2012). *youtube*. Recuperado el 25 de febrero de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=9ye1YRGCgT0>

- Cañamero, L. (2002). “*Comparing a Voting-Based Policy with Winner- Takes-All to Perform Action Selection in Motivational Agents*,”.
- Cañamero, L. (2002). *Comparing a Voting Based Policy with Winner. All to Perform Action Selection in Motivational Agents*. New York.
- Cañamero, L. (2005). Emotion understanding from the perspective of autonomous robots research. vol.18: Neural Networks.
- Carletti, J. (Julio de 2012). *El efecto del Valle Inquietante en el aspecto de los robots*. Obtenido de © Robots Argentina: <http://robots-argentina.com.ar/not/12/072501.htm>
- Carnegie Mellon. (2006). *Robot, Hall of Fame*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de AIBO: <http://www.robotalloffame.org/inductees/06inductees/aibo.html>
- Ceron Correa, A. (2012). *Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de SISTEMAS ROBOTICOS TELEOPERADOS: http://www.umng.edu.co/documents/63968/74791/r15_05.pdf
- Cosio, M. (10 de 2011). *Curiosidades:El arte de la animatrónica*. Obtenido de Cassette Blog: <http://www.cassetteblog.com/2011/10/curiosidades-el-arte-de-la-animatronica-por-manuel-cosio/>
- CSAIL, M. C. (2000). *Kismet, the robot*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de <http://www.ai.mit.edu/projects/sociable/baby-bits.html>
- Cuéllar, F. (23 de Agosto de 2013). Interacción humano robot ahora y en el futuro. (I. Kato, Entrevistador)
- Cuen, D. (20 de Julio de 2011). *En el inquietante valle de robots*. Obtenido de BBC website: http://www.bbc.co.uk/blogs/mundo/un_mundo_feliz/2011/07/en_el_inquietante_valle_de_rob.html
- Custom Entertainment Solutions Reel. (5 de Agosto de 2011). *Animatronic Robotic Industrial Neck Mechanism Human Size*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=pB4tqn9tUX0>
- Delgado, G., Lima, H., & Encalada, P. (2015). El valle inquietante. *Automática y Robótica*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid España. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=A7MtoPg_4jg

- EUROfusion. (2014). *JET*. Obtenido de EUROPE'S LARGEST FUSION DEVICE – FUNDED AND USED IN PARTNERSHIP.
- Fritz (Dirección). (2013). *Fritz, The Robotic Head Assembly Video, Rev 3* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=JI74iR-i9hc>
- Gadanho, S. C. (2003). Learning Behavior-Selection by Emotions and Cognition in a Multi- Goal Robot Task. *Journal of Machine Learning Research*, 4, págs. 385-412.
- Gary Bradski, A. K. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly Media, Inc.
- González, A. (2012). *BIO-INSPIRED DECISION MAKING SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS SOCIAL ROBOT. THE ROLE OF FEAR*. Leganés.
- Google Sites. (s.f.). *Historia de la Robotica*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de <https://sites.google.com/site/historiadelosandroides/-que-es-un-robot>
- Hewett, B. C. (1992). *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. . Recuperado el 27 de agosto de 2015, de <http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html>
- INFAIMON. (2016). *INFAIMON VISION ARTIFICIAL* . Recuperado el 27 de Febrero de 2016, de Camaras: <http://www.infaimon.com/es/camaras-industria>
- Infinitto News*. (29 de Octubre de 2014). Recuperado el 04 de Junio de 2015, de <http://www.infinittonews.com/index.php/tecnologia/avances/2860-los-robots-sociales-quieren-integrarse-e-interactuar-con-las-personas>
- Jia Zhou, Gavriel Salvendy. (s.f.). *Human Aspects of IT for the Aged Population. Design for Everyday Life: First International Conference, ITAP 2015, Held as Part of HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015*. Springer, 2015.
- Judith A. Markowitz, P. J. (2015). *Robots that Talk and Listen: Technology and Social Impact*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Kay, J. (16 de 02 de 2012). *Science Fiction: Isaac Asimov's recap*. Obtenido de Science Fiction web site: <http://sciencefiction.com/2012/02/16/prophets-of-science-fiction-isaac-asimov-recap/>
- Kowalczyk , Z., & Czubenko, M. (Diciembre de 2011). Intelligent decision-making system for au- tonomous robot. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 21, 671-684.

- Laboratory, H. I. (2002). *TELENOID*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de <http://www.geminoid.jp/projects/kibans/Telenoid-overview.html>
- Lynxmotion. (2013). *Lynxmotion: Productos*. Obtenido de Lynxmotion: <http://www.lynxmotion.com/p-395-ssc-32-servo-controller.aspx>
- Mailonline. (16 de Abril de 2015). *Humanoid robot to work in Tokyo department store*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3042316/Toshiba-set-humanoid-robot-assistant-work-Tokyo-department-store.html>
- Martin Pala, D. L., Pala, M., Lorencik, D., & Sincak, P. (12 de noviembre de 2012). *Universidad Técnica de Kosice, Eslovaquia*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de Hacia los sistemas de teleoperación robótica en la educación: http://www.academia.edu/2436597/Towards_the_robotic_teleoperation_systems_in_education
- Megadroid. (2004). *Necoro*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de <http://www.megadroid.com/Robots/necoro.htm>
- Molina Marticorena, J. L. (2015). *Historia de la Robótica*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de Profesor Molina: <http://www.profesormolina.com.ar/index.htm>
- Moriello , S. (13 de diciembre de 2008). *MEGATENDENCIAS*. Recuperado el 27 de agosto de 2015, de Robots Sociales, la nueva generación: http://www.tendencias21.net/Robots-sociales-la-nueva-generacion_a2833.html
- Moriello, S. (13 de diciembre de 2008). *MEGATENDENCIAS*. Recuperado el 27 de agosto de 2015, de Robots Sociales, la nueva generación: http://www.tendencias21.net/Robots-sociales-la-nueva-generacion_a2833.html
- Murphy , R., Lisetti, C., & Tardif, R. (2002). Emotion- Based Control of Cooperating Heterogeneous Mobile Robots. *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, 18, 744-757.
- Nair, S., Godfrey, W., & Kim, D. (2011). On Realizing a Multi-Agent Emotion Engine,. *International Journal of Synthetic Emotions*, 2, 1-27.

- Need for bits. (15 de 8 de 2012). *Electronic Practices: Step Motor*. Obtenido de Need for bits : <https://need4bits.wordpress.com/2012/08/15/asmp03control-de-un-motor-a-pasos-bipolar-pic18f4550-asm/>
- Nova. (9 de Junio de 2015). *Robots Friendly*. Obtenido de Nova : <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/friendly-robots.html>
- Paniagua, E. (2 de mayo de 2015). *Una inteligencia no tan artificial*. Obtenido de <http://tlife.guru/profesional/inteligencia-artificial-robots/>
- Papalia, D. E. (1994). *Psicología*. McGraw-Hill.
- Parisi, D. (2014). *Future Robots*. USA: Jhon Benjamins Publishing Company.
- Paro ROBOTS U.S. (2014). *PARO*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de PARO Therapeutic Roboy: <http://www.parorobots.com/>
- Philips. (2004). *Philips Research - Technologies*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de iCat: <http://www.research.philips.com/technologies/projects/robotics/>
- Philips. (Abril de 2005). *Philips Research*. Recuperado el 25 de Febrero de 20016, de iCat: <http://www.research.philips.com/technologies/projects/robotics/>
- Plasticpals. (Octubre de 2014). *Papero*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2015, de http://www.plasticpals.com/?attachment_id=10635
- Productora audiovisual Videocontent . (22 de agosto de 2015). *Animación: el origen y las técnicas más utilizadas*. Obtenido de Videocontent : <http://videocontent.es/blog/video-animacion/video-animacion/>
- Puerto, K. (5 de junio de 2014). *Xataka*. Obtenido de Sonríe, Pepper te está mirando y sabe cómo te sientes: <http://www.xataka.com/robotica-e-ia/sonrie-pepper-te-esta-mirando-y-sabe-como-te-sientes>
- Pyroelectro. (2012). *Animatronics eyesbrown*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de http://www.pyroelectro.com/tutorials/animatronic_mouths/index.html
- Rayovac. (2015). *Pproductos: Pilas recargables* . Obtenido de Rayovac: <http://la.rayovac.com/produtointerna.aspx?cid=15&pid=6>
- Redacciones 2001. (6 de Febero de 2016). *Alan: Un robot adorable que se comporta como un gato real*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de <http://www.2001.com.ve/mundo-loco/123445/alan--un-robot-adorable-que-se-comporta-como-un-gato-real-.html>

- ROBOLOGS. (Septiembre de 2014). *Reconocimiento facial con OpenCV + webcam*. Recuperado el 27 de Febrero de 2016, de <http://robologs.net/2014/05/26/reconocimiento-facial-con-opencv-webcam/>
- Roboti Squared. (5 de Enero de 2012). *Robotics Squared Animatronic Robot Neck Assembly*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de https://www.youtube.com/watch?v=-dh2_MTYcf4
- Ruales Cortés, C. D. (2014). DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN ROSTRO ROBOTICO CON APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSION LATACUNGA. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Naucalpan de Juarez, México: Pearson Educación.
- Softbank . (2014). *Pepper*. Obtenido de Pepper: <http://www.softbank.jp/en/robot>
- Sun, R. (2006). *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge University Press.
- Takayuki, K., & Hiroshi, I. (2012). Introduction to Network Robot Approach for Human-Robot Interaction. En *Human-Robot* (págs. 1-5). Unit States: Taylor & Francis Group.
- Tearle, M. (Dirección). (2015). *Animatronic Eye Mechanism* [Película]. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=6jqvu_MQ5pc
- techcrunch. (22 de marzo de 2010). *Robot + iPod touch*. Recuperado el 07 de septiembre de 2015, de <http://techcrunch.com/2010/03/22/robot-ipod-touch-robotie-mr2-video/>
- Thinking big. (15 de julio de 2015). *BUDDY*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2015, de <http://blogthinkbig.com/robot-interactua-familia-hogar/>
- Todo Robot. (2015). *Tutorial: Motor paso a paso*. Obtenido de Todo robot | La web de Android: <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>
- Torras, C. (2014). Robots sociales, Un encuentro entre la ciencia y la ficción. *Mètode*, 82.
- TOYOTA. (2015). *Partner Robot*. Recuperado el 01 de septiembre de 2015, de http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/

- UCLM. (2015). *Elementos Electrónicos: Servomotor*. Obtenido de Departamento de Sistemas Informáticos sitio web: <http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES,S.A. DE C.V.
- Universidad Carlos III de Madrid. (2013). *Ingeniería Mecánica: Recomendaciones de diseño*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/sistemas-de-produccion-y-fabricacion/material-de-clase-1/tema-7>
- Universidad Carlos III de Madrid. (19 de diciembre de 2014). *ROBOTICSLAB*. Recuperado el 01 de agosto de 2015, de Maggie: <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/robot/maggie>
- Valencia Redrován, D. P., & Gonzalez Delgado, L. E. (Julio de 2014). *Universidad Politecnica Salesiana*. Recuperado el 31 de agosto de 2015, de Diseño e implementacion de un prototipo de robot asistente para personas con discapacidad motriz y adultos mayores, basados en inteligencia artificial: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6779/1/UPS-CT003503.pdf>
- Velásquez, J. D. (1998). When Robots Weep : Emotional Memories and Decision-Making. *Artificial Intelligence* (págs. 70-75). New York: JOHN WILEY & SONS LTD.
- Velásquez, J. D., & Maes, P. (1997). Cathexis: a computational model of emotions. *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents* (págs. 518-519). New York,USA: ACM.
- Vincent, J., Taipale, S., Sapiro, B., Lugano, G., & Fortunati, L. (2015). Situating the human in Social Robots. En *Social Robots For a Human Perspective* (págs. 1-6). New York: Springer International Publishing.
- Wikipedia. (2015). *Kismet*. Recuperado el 04 de Junio de 2015, de Wikipedia: [http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Kismet_\(robot\)&prev=search](http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Kismet_(robot)&prev=search)
- Zeng, M., Pantic, M., & Huang, T. (2008). A survey of affect recognition methods.
- Zhijun Li, Yuanqing Xia, Chun-Yi Su. (2015). *Intelligent Networked Teleoperation Control*. Springer.

ANEXOS