



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO
ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE
EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA”

AUTOR: RUALES CORTÉS, CARLOS DAVID

DIRECTOR: ING. ARTEAGA, OSCAR

CODIRECTOR: ING. RIVAS, DAVID

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

ING. ARTEAGA L. OSCAR B. (DIRECTOR)

ING. RIVAS L. DAVID R. (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el presente proyecto de grado denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, fue desarrollado en su totalidad por el señor Ruales Cortés Carlos David, y ha sido guiado y revisado periódicamente. Mismo que cumple todas las normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de alto grado de investigación y contenido científico, servirá como aporte a la generación y desarrollo de conocimientos.

Latacunga, Marzo del 2015



Ing. Arteaga L. Oscar B.
DIRECTOR



Ing. Rivas L. David R.
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD


YO, RUALES CORTÉS CARLOS DAVID

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo del 2015



Ruales Cortés Carlos David
C.C.: 180343098-0


UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

YO, RUALES CORTÉS CARLOS DAVID

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva autoría y responsabilidad.

Latacunga, Marzo del 2015



Ruales Cortés Carlos David
C.C.: 180343098-0

DEDICATORIA

Dedico este y todos mis logros a Dios,
El autor de mi vida.

Dedico mi esfuerzo y sacrificio a mis padres,
quienes con su anhelo incansable de verme realizado,
han invertido sus fuerzas y su tiempo por mí.

Dedico de manera especial este trabajo a
mis hermanos Paco y Mely,
quienes son dueños de mi cariño.

AGRADECIMIENTO

“A ti, oh Dios de mis padres, te doy gracias y te alabo,
porque me has dado sabiduría y fuerza...”

Daniel 2:23a.

(Fuente: La Palabra de Dios)

Primeramente agradezco a Dios, mi creador y dueño de mi vida, por permitirme culminar la carrera universitaria. Quien me protege, me fortalece y me alienta.

Agradezco profundamente a mi papá Carlitos y a mi mamá Vane, por su amor, y porque me han inculcado valores y convicciones para convertirme en una persona de bien.

Agradezco también a toda mi familia, en especial a mis abuelitas y mis hermanos, por estar a mi lado incondicionalmente.

Agradezco a mis tíos, primos, amigos, profesores y compañeros, y en general, a las personas que me han apoyado en todo tiempo.

Agradezco de forma especial al Ingeniero Oscar Arteaga, y al Ingeniero David Rivas, por su colaboración en el desarrollo de este proyecto de tesis; y en su nombre, a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

*A todos ustedes, un sincero... **Gracias***

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
PRESENTACIÓN	xix

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1	Definición del Problema	1
1.2	Objetivo General	1
1.3	Objetivos Específicos.....	1
1.4	Hipótesis	2
1.5	Variables de la Investigación	2
1.6	Generalidades.....	2
1.6.1	Robot y Robótica	2
1.6.2	Antropomorfismo.....	3
1.6.3	Animatrónica.....	4
1.6.4	Androide	4
a.	Geminoides	5

b.	Kansei	6
1.6.5	Robots y la Sociedad.....	7
a.	Autismo y la Robot-Terapia.....	8
b.	Razones para considerar la Robo-Terapia	8
1.7	Anatomía Facial	9
1.7.1	El Hueso.....	10
1.7.2	El Músculo	11
1.8	Comunicación a través de las Emociones	12
1.8.1	Emoción y Gesto.....	13
1.9	Sistema de Control.....	13
1.9.1	Sistema de Control en Lazo Abierto	14
1.9.2	Sistema de Control en Lazo Cerrado	15
1.10	Comunicación Serial.....	15
1.11	Hardware del Robot	16
1.11.1	Tarjeta de Control	17
1.11.2	Unidad de Reconocimiento del Habla	19
a.	Módulo de Reconocimiento de Voz V.2.....	19
1.11.3	Unidad de Reproducción de Audio.....	20
a.	Módulo WTV020-SD-16P Mini	20
1.11.4	Comunicación Inalámbrica	22
a.	Tecnología Bluetooth.....	22
b.	Módulo Bluetooth HC-07	22
1.11.5	Actuadores Eléctricos	23
a.	Servomotores	23
1.11.6	Fuentes de Alimentación de Energía	25
1.11.7	Elementos de Protección Contra Sobrecorrientes.....	25
1.11.8	Transductor Electroacústico.....	26

a.	Micrófono	26
b.	Altavoz.....	27
1.12	Software del Robot	28

CAPÍTULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

2.1	Geometría del Sistema y Distribución por Regiones del Rostro Robótico.....	30
2.2	Diseño Mecánico.	32
2.2.1	Materiales Principales y sus Características	33
2.2.2	Propiedades de los Materiales.....	33
a.	Látex	33
b.	Fibra de Vidrio.....	34
c.	Acero ASTM A-36	34
2.2.3	Diseño del Ensamble Interno del Rostro Robótico.....	34
2.3	Selección y Justificación de Materiales.	35
2.3.1	Región Frontal	35
a.	Selección de Materiales	35
b.	Dilucidación.....	35
c.	Sistema de Ojos.....	35
e.	Justificación de la Región Frontal.....	36
2.3.2	Región Craneal.....	37
a.	Selección de Materiales	37
b.	Dilucidación.....	37
c.	Justificación de la Región Frontal.....	38
2.3.3	Región Maxilar	38
a.	Selección de Materiales	38

b.	Dentadura.....	38
c.	Dilucidación.....	39
d.	Justificación de la Región Maxilar	39
2.3.4	Región Yugular.....	39
2.4	Base Mecánica del Robot.....	40
2.5	Análisis Estructural del Robot	41
2.5.1	Análisis Estructural de la Base Central del Rostro Robótico	42
a.	Cálculo de las Fuerzas Actuales en la Base Central	43
b.	Comprobación de la Estructura Mediante el Software SolidWorks	44
2.5.2	Análisis Estructural del Eje Principal	46
a.	Calculo del Esfuerzo Máximo para Selección del Material del Eje Principal	46
b.	Comprobación de Selección de Material Mediante el Software SolidWorks	51
2.5.3	Análisis y Selección de la Chumacera y el Rodamiento.....	53
2.5.4	Análisis y Selección del Cuello Mecánico.....	54
2.5.5	Análisis del Soporte Interior del Rostro Robótico.....	55
a.	Cálculo del Factor de Seguridad de la Estructura del Soporte Inferior ..	56
b.	Comprobación de Selección de Material Mediante el Software SolidWorks	58
2.6	Diseño Eléctrico y Electrónico	60
2.6.1	Selección Elementos Electrónicos	60
a.	Selección de la Tarjeta Controladora Arduino.....	61
b.	Selección del Servomotor	61
c.	Selección de Módulo de Reconocimiento de Voz	64
d.	Selección del Módulo de Audio.....	64
e.	Selección del Módulo Bluetooth.....	65
2.6.2	Esquemático de Interacción del Sistema Electrónico.	65
2.6.3	Selección y Distribución de Energía del Sistema Electrónico.....	66

2.6.4	Diagrama de Conexiones del Sistema Electrónico.	688
2.7	Diseño del Sistema de Control.....	68
2.7.1	Diagrama de Flujo para el Control del Rostro Robótico	68

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN

3.1	Construcción Mecánica.....	72
3.1.1	Composición Estructural.....	72
3.1.2	Construcción y Ensamblaje Mecánico.....	75
3.2	Implementación de Sensores y Actuadores.	77
3.3	Ensamblaje de componentes.	78
3.4	Elaboración de la Máscara de Látex	81
3.5	Desarrollo del Sistema de Control	83
3.5.1	Desarrollo de la Aplicación para dispositivos Android	83
a.	App Inventor Designer.....	84
b.	App Inventor Blocks Editor	87
3.4.1	Desarrollo del Sketch para la Tarjeta Arduino	87

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	Pruebas del Sistema Mecánico.....	92
4.2	Pruebas de Sensores y Actuadores.....	92
4.2.1	Dispositivos de Comunicación	92
4.2.2	Dispositivos de Salida.....	94
4.3	Pruebas Generales.....	95
4.3.1	Alcances y Limitaciones	97

4.4	Validación de la hipótesis	97
4.5	Análisis Económico	98

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	102
5.2.	Recomendaciones.	103

BIBLIOGRAFÍA.....	104
--------------------------	------------

GLOSARIO	107
-----------------------	------------

ANEXOS	110
---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Emociones y Expresiones Faciales Universales	12
Tabla 1.2 Características del Arduino Mega 2560.....	18
Tabla 1.3 Parámetros de Funcionamiento del Módulo de Reconocimiento de Voz..	19
Tabla 1.4 Parámetros de Funcionamiento del Módulo WTV020-SD-16P	21
Tabla 1.5 Distribución de Pines del Módulo WTV020-SD-16P	21
Tabla 2.1 Descripción Dinámica del Rostro Robótico.....	31
Tabla 2.2 Descripción detallada de la Base Mecánica del Rostro Robótico.....	41
Tabla 2.3 Lista de Servomotores Power-HD.	62
Tabla 2.4 Elección de Servomotores del Rostro Robótico.	63
Tabla 2.5 Límites del Movimiento Angular de los Servomotores	63
Tabla 4.1 Tabulación de Datos de Reconocimiento de Voz.	93
Tabla 4.2 Detalle de Costos de los Materiales y Elementos del Rostro Robótico.	98
Tabla 4.3 Resumen de Gastos Varios.	100
Tabla 4.4 Detalle de Maquinado.	100
Tabla 4.5 Costo Directo del Proyecto.	101
Tabla 4.6 Descripción del Costo Final del Rostro Robótico.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Robot Antropomórfico C3-PO, Película Star Wars.....	3
Figura 1.2 Dinosaurio Animatrónico. Parque Temático Jurassic Park, Universal.....	4
Figura 1.3 Geminoides: Gemonoid F, Geminoid HI-2 y Geminoid DK.	5
Figura 1.4 Geminoid HI-4 Junto a su Creador Hiroshi Ishiguro.	6
Figura 1.5 Kensei, el Robot Sensible.....	7
Figura 1.6 Empatía de los Niños Autistas hacia el Robot.....	9
Figura 1.7 Huesos de la Cara y del Cráneo.....	10
Figura 1.8 Músculos del Cráneo.	11
Figura 1.9 Diagrama del Sistema de Control.	14
Figura 1.10 Diagrama del Sistema de Control en Lazo Abierto.	14
Figura 1.11 Diagrama del Sistema de Control en Lazo Cerrado.	15
Figura 1.12 Trama de Comunicación Serial.	16
Figura 1.13 Arduino Mega 2560.	18
Figura 1.14 Módulo de Reconocimiento de Voz V2.	19
Figura 1.15 Módulo WTV020-SD-16P.....	21
Figura 1.16 Módulo Bluetooth HC-07.	22
Figura 1.17 Servomotor Plástico de Corriente Continua.	23
Figura 1.18 Funcionamiento de un Servomotor (HS-422).....	24
Figura 1.19 Fusible.....	26
Figura 1.20 Micrófono – Transductores Electroacústico de Condensador.....	27
Figura 1.21 Altavoz - Transductor Electroacústico Magnético	27
Figura 2.1 Geometría del Movimiento de la Cabeza.	30
Figura 2.2 División Estructural de la Cabeza Robótica.	31
Figura 2.3 Diseño del Ensamble Interno del Rostro Robótico.....	34
Figura 2.4 Sistema de Ojos del Rostro Robótico.	35
Figura 2.5 Sistema de Ceño del Rostro Robótico.	36
Figura 2.6 Diseño de la Región Frontal del Rostro Robótico.....	36

Figura 2.7 Diseño de la Región Craneal del Rostro Robótico.	37
Figura 2.8 Dentadura del Rostro Robótico.	38
Figura 2.9 Diseño de la Región Maxilar del Rostro Robótico.	39
Figura 2.10 Descripción individual de la Base Mecánica del Rostro Robótico.	40
Figura 2.11 Base Central del Rostro Robótico.	42
Figura 2.12 Fuerzas Actuantes sobre la Base Central del Rostro Robótico.	43
Figura 2.13 Gráfico de la Tensión de Von Mises en la Base Central.	44
Figura 2.14 Gráfico del Desplazamiento Estático en la Base Central.	45
Figura 2.15 Gráfico del Factor de Seguridad en la Base Central.	45
Figura 2.16 Eje Principal del Rostro Robótico.	46
Figura 2.17 Descripción y Medidas de la Base Central del Rostro Robótico.	47
Figura 2.18 Gráfico de la Tensión de Von Mises en el Eje.	51
Figura 2.19 Gráfico del Desplazamiento Estático en el Eje.	52
Figura 2.20 Gráfico del Factor de Seguridad Generado en el Eje.	52
Figura 2.21 Chumacera con Rodamiento Insertable para el Rostro Robótico.	54
Figura 2.22 Cuello para el Rostro Robótico.	55
Figura 2.23 Fuerzas Actuantes en el Soporte Interior del Rostro Robótico.	55
Figura 2.24 Diagrama de la Fuerza Distribuida sobre el Soporte Interior.	57
Figura 2.25 Diagrama de Esfuerzo Generado en el Soporte Interior.	57
Figura 2.26 Diagrama del Momento Flector Generado en el Soporte Interior.	57
Figura 2.27 Gráfico del Factor de Seguridad en el Soporte Interior.	59
Figura 2.28 Gráfico de la Tensión de Von Mises en el Soporte Interior.	59
Figura 2.29 Gráfico del Desplazamiento Estático en el Soporte Interior.	60
Figura 2.30 Parlantes Estéreo USB SP-U115.	65
Figura 2.31 Interacción Entre los Elementos Electrónicos del Rostro Robótico.	66
Figura 2.32 Esquema de Distribución Eléctrico para el Rostro Robótico.	67
Figura 2.33 Diagrama Eléctrico del Rostro Robótico.	67
Figura 2.34 Diagrama de Flujo para el Control del Rostro Robótico.	70
Figura 3.1 Fabricación de Moldes Faciales para el Robot K-Lu-K.	72
Figura 3.2 Cabeza de Fibra de Vidrio del Rostro Robótico.	73

Figura 3.3 Torso de Fibra de Vidrio del Robot K-Lu-K.....	74
Figura 3.4 Inserción de Sistema de Ojos en el Cráneo del Robot.....	74
Figura 3.5 Inserción de la Dentadura en el Maxilar Inferior del Robot.	74
Figura 3.6 Mecanizado del Eje Principal del Robot.	75
Figura 3.7 Construcción del Soporte Interior y Cuello Mecánico del Robot.....	75
Figura 3.8 Construcción del Acople de Acero y de la Base Central del Robot.	76
Figura 3.9 Protección de los Elementos de Acero Mediante Pinturas.	76
Figura 3.10 Ensamblaje de Comprobación de los Elementos Mecánicos.	77
Figura 3.11 Elaboración del Circuito Multipropósito.....	78
Figura 3.12 Elaboración del Circuito para Distribución de Servomotores.	78
Figura 3.13 Encajamiento del Servo del Cuello y de los Micro Servo.	79
Figura 3.14 Conexión Sobre la Placa de Distribución de los Servomotores.	79
Figura 3.15 Ensamble de los Elementos Electrónicos en el Soporte Inferior.....	80
Figura 3.16 Inserción de Porta Fusible y Parlantes dentro del Torso.	80
Figura 3.17 Agrupación Final de los Componentes Internos de Rostro Robótico. ...	81
Figura 3.18 Elaboración de Moldes Base para la Máscara del Rostro Robótico.....	81
Figura 3.19 Elaboración de Moldes al Vacío para la Máscara del Rostro Robótico. 82	
Figura 3.20 Moldes de las Orejas del Rostro Robótico.	82
Figura 3.21 Máscara de Látex para el Rostro Robótico.....	83
Figura 3.22 Screen 1 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.....	84
Figura 3.23 Screen 2 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.....	85
Figura 3.24 Inicialización del Sketch para la Tarjeta Arduino.	88
Figura 3.25 Void Set-up del Sketch para la Tarjeta Arduino.....	89
Figura 3.26 Void Loop del Sketch para la Tarjeta Arduino.....	91
Figura 4.1 Reconocimiento de Voz en el Monitor Serial del IDE de Arduino.	93
Figura 4.2 Recepción de Subrutinas en el Monitor Serial del IDE de Arduino.....	94
Figura 4.3 Robot K-Lu-K.....	95
Figura 4.4 Monitorización Mediante Luces Led.....	96
Figura 4.5 Imágenes de Diferentes Gestos del Robot K-Lu-K.	96

RESUMEN

El rostro robótico es una entidad mecánica que posee una apariencia semejante al ser humano; y es considerado como un humanoide, dado a la característica esencial de imitar los gestos y emociones que reproduce un hombre común. El presente proyecto de tesis consiste en el: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”, cuyo objetivo es desarrollar un Sistema Mecatrónico e Interactivo, que reproduzca comportamientos del ser humano, haciendo que el espectador reaccione al objeto como si se tratase de un ser vivo. Al robot se le identifica con el apelativo “K-Lu-K”, que es el acrónimo de: Unidad Lógica de Cadencia Controlada. Posee la capacidad de ser atractivo, basado en el ardid de parecerse a una persona. K-Lu-K fue diseñado en un software CAD, para establecer el lugar correcto y específico de cada componente. Tiene la capacidad de comunicarse usando un módulo de reconocimiento de voz, un módulo de reproducción de sonidos y un sistema de audio. Además genera movimientos independientes y sincronizados de la cabeza, los párpados, los ojos, la boca y la frente, empleando servomotores. Los elementos electrónicos se controlan con una tarjeta arduino, que es monitoreada vía bluetooth desde una aplicación para dispositivos móviles, Dicha aplicación fue desarrollada específicamente para el robot K-Lu-K, misma que sirve de interfaz hombre-máquina. Permitiendo de esta manera romper el delgado umbral entre el objeto y el personaje.

PALABRAS CLAVES:

ROBOT HUMANOIDE

ROSTRO

ROBOTERAPIA

COMUNICACIÓN BLUETOOTH

RECONOCIMIENTO DE VOZ

ABSTRACT

The robotic face is a mechanical entity that has a similar appearance to humans, and is considered as a humanoid robot. Since the property of imitating the gestures and emotions that plays the common man, can be called “Android Robot” This thesis project consists of: "DESIGN AND CONSTRUCTION OF A ROBOTIC FACE OF HUMAN APPEARANCE WITH ABILITY TO EXECUTE GESTURES AND EMOTIONS", which aims to develop a Mechatronic and Interactive System, which play behaviors of human beings, making the viewer reacts to the object as if it were a living being. The robot "K-Lu-K," which is the name which it's identified, as the acronym for: Cadence Logic Controlled Unit; has the ability to be attractive to viewers, based on the scheme to look like a person. K-Lu-K was previously designed in CAD software to establish the correct and specific place for every single mechanical and electronic element, as well as modeling and designation of structures and appearance external materials. Has the capability to communicate by providing a voice recognition module, a module for sound playback and an audio system and generate independent and synchronized movements of head, eyelids, eyes, mouth and forehead using servo motors. The electronic elements are controlled with an electronic card, which is monitored via bluetooth from a mobile devices application, which serves as man-machine interface, developed specifically for the K-Lu-K's robot, thus breaking the thin threshold between the object and the character.

KEYWORDS:

HUMANOID ROBOT

FACE

ROBOTHERAPY

BLUETOOTH COMUNICATION

VOICE RECOGNITION

PRESENTACIÓN

Industrias robóticas en el mundo entero, buscan la manera tecnológica de personificar a una máquina hasta llegar al ser humano, adaptando sistemas de desarrollo científico, intentando tomar una cualidad de Dios como creador del universo. Sin desmerecer el logro que algunos han tenido, cabe señalar que estructuras tan complejas como el ojo y sistemas como el nervioso central, no alcanzarán a ser reemplazados inclusive bajo el asombroso desarrollo conseguido.

Por otro lado, en la actualidad hablar de inteligencia artificial es adentrarse en un mundo de información finita que requiere de datos pre-programados o pre-concebidos, que recrean reacciones a estímulos de los robots de hoy en día, por lo que es preciso acotar que la inteligencia que posee el robot es solo una inteligencia específica, dado a que el mismo realiza una o muchas ordenes registradas en un marco de “posibles”, que a diferencia de una persona puede actuar fuera del límite de lo probable.

El presente proyecto de tesis propone el diseño y construcción de un rostro robótico, capaz de realizar gestos y emociones similares a los que una persona expresa con total naturalidad, así como el desarrollo de un control para el mencionado rostro. El cual contempla movimientos faciales independientes de algunos músculos y tendones de la cabeza humana. Donde se propone no solo el control de varios músculos, sino además la sincronización de los mismos con “el habla” del robot propiamente dicho; de manera que simule las reacciones faciales de un hombre común.

El proyecto como tal consta de la construcción total del cráneo, cuello y parte del torso teniendo como material de soporte al acero y una estructura ósea compuesta por fibra de vidrio. Adicionalmente se registran servomotores como entes de movimiento para cada músculo y tendón. Finalmente se recubre con látex que le brinda una apariencia a piel humana.

Su funcionamiento es bajo una aplicación para dispositivos móviles, ya sean smartphone's o tablet's, que contengan un sistema operativo Android, misma que fue

desarrollada específicamente para un control y monitoreo vía bluetooth de las expresiones y gestos que realiza el robot K-Lu-K. Y que además permite activar el reconocimiento de voz y la reproducción de respuestas a comandos de voz previamente grabados mediante parlantes, que se ubican en el pecho del mismo.

El “cerebro” principal del robot, es una tarjeta electrónica Arduino, que está encargada de recibir las órdenes auditivas y de comunicación serial, para una vez analizadas, responder de forma adecuada haciendo que el robot simule las reacciones que un ser humano puede ejecutar en función a su intelecto bajo criterios de experiencia o deducciones lógicas.

El capítulo I, contiene información que detalla y determina parámetros de ubicación del proyecto dentro del sitio conforme a las características del robot, así como la aplicación que tendrá el mismo en la sociedad. Además reúne los datos de los elementos que se pueden seleccionar para la construcción y configuración del robot.

En el capítulo II, se encuentran los parámetros y diseños asistidos por computador, así como las partes y piezas seleccionadas para el movimiento sincronizado del rostro robótico sin que afectará la estética final.

El capítulo III, Se encuentra el detalle sobre la fabricación de piezas y el ensamblaje del rostro robótico, así también los parámetros del control del robot.

En el capítulo IV están definidas las pruebas que validan el proyecto y cada uno de los parámetros que validan la hipótesis planteada previamente en el capítulo I.

Finalmente, el capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones arrojadas en función a la elaboración del proyecto de grado, en donde se destaca el cumplimiento final de los objetivos planteados.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Definición del Problema

La idea de elaborar un rostro robótico surge de la necesidad de desarrollar soluciones mecatrónicas como una herramienta que interactúe con el ser humano, y a la vez estimule tanto al estudio, como al progreso de la robótica en la región y el país; a fin de que pueda ser utilizado además como un instrumento de asistencia frente a problemas cotidianos y sociales como el Síndrome del Espectro Autista, o simplemente como un dispositivo de exhibición y máquetin.

1.2 Objetivo General

Diseñar y construir un rostro robótico que ejecute gestos y emociones acordes a las humanas.

1.3 Objetivos Específicos

- a. Diseñar y construir mecanismos de soporte y movimiento para el cuello y cabeza del robot, así como varios músculos de la cara.
- b. Construir un sistema mecánico que realice el movimiento de abrir y cerrar los párpados y la boca, así como el posicionamiento sobre dos ejes diferentes, tanto para el rostro y para los ojos.
- c. Ensamblar las partes fijas y móviles de la cabeza del robot, según parámetros de diseño y estudios realizados.
- d. Establecer un sistema de control que permita cambiar los gestos del robot bajo comandos de programación.
- e. Desarrollar una aplicación atractiva para el control total del robot desde un Smartphone o Tablet.

1.4 Hipótesis

¿El diseño y construcción de un rostro robótico permitirá ejecutar gestos y emociones aparentes a las de un ser humano?

1.5 Variables de la Investigación

- a. **Variable Independiente:** Rostro robótico
- b. **Variable Dependiente:** Generación de gestos y emociones.
- c. **Conceptualización de la variable independiente:** Es un sistema sintético antropomórfico, capaz de realizar acciones similares a las del rostro del ser humano, de control automático (gestos) o por estímulos externos (emociones), bajo parámetros y límites, y que sirve para varias aplicaciones.

1.6 Generalidades

Definir a un robot representa un desafío, debido a que en una sola palabra se debería incluir las capacidades que podría tener, sin embargo, lo que se puede reconocer es que un robot procede a realizar una acción reconocible.

1.6.1 Robot y Robótica

Universalmente, se define a un robot como el objeto más parecido a un humano; y es que en realidad, cada creador de un robot, se inspira indirectamente en el hombre, para desarrollar mecanismos controlados que potencien una o varias de sus cualidades; Así es como la concepción de Robot, primeramente nos invita a pensar en un monigote de hojalata que desenvuelve una acción.

Aunque no muy ajeno a esta premisa, en realidad el término Robot, es aplicable al “trabajo forzado”, según su raíz checa “Robota” y que originó esta singular descripción a cualquier máquina que funciona automáticamente o por medio de un ordenador, y que podría entenderse como un esclavo en la era antigua y que hasta la actualidad se le asigna a los sistemas mecatrónicos reprogramables y multifuncionales.

Robótica es la ciencia que congrega a múltiples recursos tecnológicos junto al conocimiento implementado, con el fin de desempeñar algún tipo de tarea. Sin embargo Brady y Richard, definieron que: “La Robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción” (Brady. M, 1984). De modo que hablar de un robot, significa postular sistemas mecatrónicos que desempeñen una función, usando el desarrollo de decisiones previamente programadas, mismas que son la base del pensamiento artificial y que ha permitido hasta cierto punto, que la ficción se convierta realidad en la última década, concediéndonos incluso explorar planetas inhabitables por medio del uso de la robótica.

1.6.2 Antropomorfismo

El término antropomórfico, relaciona el resultado final del robot, frente a la o las cualidades que representa su forma, es decir, engloba los patrones de programación que de cualquier modo controlan al robot junto a su aspecto final, dotando a la máquina recrear o simular cierto tipo de “personalidad ficticia”, pero que idealmente es un dominio conocido para el hombre. Los robots manipuladores están inmersos en esta descripción, ya que por poseer articulaciones mecánicas y un efector final, es un modo de personificación y que también son conocidos como brazo-robot.



Figura 1.1 Robot Antropomórfico C3-PO, Película Star Wars.

Fuente: (Zuruk zum Lexicon, 2008)

1.6.3 Animatrónica

Se conoce a la Animatrónica como una “la técnica que, mediante el uso de mecanismos robóticos, simula el aspecto y comportamiento de los seres vivos, empleando marionetas u otros muñecos mecánicos” (Cosío, 2011). Donde además del fundamental movimiento controlado del robot, se inmiscuyen factores artísticos que permiten a la máquina como tal asemejarse a un ser vivo, tanto en sus capacidades y en su aspecto externo. Desde algunos años los robots animatrónicos han sido parte fundamental de la cinematografía y los parques temáticos. Figura 1.2



Figura 1.2 Dinosaurio Animatrónico. Parque Temático Jurassic Park, Universal

Fuente: (Flickr, 2014)

Un animatrónico es un robot antropomórfico que permite engañar momentáneamente al receptor (observador), porque inconscientemente reacciona como si el objeto tuviera vida, gracias a esta conducta idiosincrásica que no es más otra cosa que la sincronía de movimientos, sonidos, y otros.

1.6.4 Androide

Los Robots Androides no solo son robots antropomórficos de tipo humanoide, sino que además poseen “iniciativa artificial”, bajo un concepto inesperado, esto se traduce como la posibilidad que ni el mismo creador del robot, sepa la reacción que en este caso el robot androide pueda elegir. Para ello, previamente debe contener un algoritmo de control sofisticado, y a la vez desempeñe funcionalidades conforme a las Leyes de la Robótica citada en los relatos de Isaac Asimov (Asimov, 2008), que señalan que:

- I. “Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.
- II. Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la 1^{ra} Ley.
- III. Un robot debe proteger su propia existencia en la medida que esta protección no entre en conflicto con la 1^{ra} o la 2^{da} Ley.”

Por falta de conocimiento al respecto del tema, muchos adoptan el nombre de androides a cualquier robot humanoide, pero existe una diferencia significativa que divide entre androides o autómatas de los robots controlados, que justamente es la complejidad de su programación.

En la última década los robots androides han llegado a tener una complejidad inimaginable, gracias al uso de recursos tecnológicos de punta y sistemas de control cada vez más sofisticados. Un claro ejemplo de la conjunción de estética y robótica son los Geminoides.

a. Geminoides



Figura 1.3 Geminoides: Gemonoid F, Geminoid HI-2 y Geminoid DK.

Fuente: (Ishiguro, 2007)

Los robots con mayor apariencia humana existentes son los geminoides. (Véase la figura 1.3) Viene del inglés ‘Gemini’ que significa gemelo, y del sufijo ‘Oide’ que significa forma o semejanza. Además de la apariencia externa a detalle, los geminoides

son androides teledirigidos y diseñados para asimilar los comportamientos y las numerosas expresiones que tienen los seres humanos, para imitarlas luego de un proceso de escogimiento programado. El profesor japonés Hiroshi Ishiguro, es el creador de su clon (Geminoid HI-2) y del robot (Geminoid F), además de perfeccionó su propia Obra de Arte con el Geminoid HI-4, que consta de 16 grados de libertad, sensores táctiles además de 16 actuadores neumáticos. Tiene un esqueleto metálico, un cráneo plástico y está recubierto por silicón que cumple las funciones de piel artificial.



Figura 1.4 Geminoid HI-4 Junto a su Creador Hiroshi Ishiguro.

Fuente: (Bisite, 2012)

Mientras que el Geminoid DK, fue desarrollado por el profesor Henrik Scharfe de Dinamarca, proponiendo una fina atención en los rasgos y músculos faciales, así como el desenvolvimiento de los mismos al momento de gesticular. Al igual que Ishiguro, Scharfe se han convertido en un referente de la robótica del siglo XXI.

b. Kansei

Es el apelativo designado para el robot desarrollado por investigadores de la Universidad de Meiji en Kawasaki, Japón. Y se trata de una cara robótica que tiene la facultad de expresar hasta 36 emociones por medio de expresiones faciales, usando un número de 19 partes móviles dentro una máscara de silicona que aportan a la distinción de emociones. Para su funcionamiento Kansei (cuya traducción es Sensibilidad), registra 500.00 palabras en su base de datos para obtener una reacción determinada.

El robot fue creado para realizar estudios de comunicaciones entre humanos y robots, y que según Junichi Takeno, profesor de la Universidad de Leiji y jefe del proyecto, ha tenido resultados alentadores en relación a la capacidad de transmitir emociones sin necesidad de moverse o hablar.



Figura 1.5 Kensei, el Robot Sensible.

Fuente: (Caminante, 2007)

1.6.5 Robots y la Sociedad

Existen diferentes criterios acerca de los robots dentro de la sociedad, debido a la representación que un robot puede originar en el lugar que sea insertado. Sin embargo es necesario considerar las ventajas y desventajas que pueda ocasionar el uso de un artefacto mecatrónico y su repercusión siempre en beneficio del ser humano.

“El control de procesos y su automatización crece continuamente gracias al desarrollo de máquinas y de sistemas más versátiles cada vez y autónomos, capaces de operar y de trabajar en ambientes hostiles y peligrosos, realizando tareas monótonas y repetitivas. Se han desarrollado robots para operar en el espacio, bajo tierra en minas, capaces de manipular y desactivar explosivos, en entornos radioactivos, etc.” (Pardo, 2013)

Proporcionando seguridad y bienestar al hombre, que no deberá ser reemplazado por la máquina, sino que el obrero debe ser el operador del equipo por más autómatas que sea.

Las ventajas y aplicaciones de los robots, al igual que los usos no tienen límite. Es necesario y suficiente un equipo robótico adecuado a cada ambiente, con una correcta programación y unas exhaustivas pruebas para que su funcionamiento obtenga los mejores y mayores resultados. Pero es necesario considerar restricciones que pueden existir entorno al aspecto energético, ambiental, económico y flexible. Que de una u otra manera han sido factores decisivos al momento de implementar o no soluciones robóticas.

a. Autismo y la Robot-Terapia

El autismo no es considerado como una enfermedad, es un síndrome que se resume como un conjunto de dificultades que afectan las habilidades sociales y de comunicación de los niños que la padecen. Es un espectro de trastornos caracterizados por un grave déficit del desarrollo, permanente y profundo. Afecta la socialización, la comunicación, la imaginación, la planificación y la reciprocidad emocional, y evidencia conductas repetitivas o inusuales.

Los síntomas en general son: la incapacidad de interacción social, el aislamiento y las estereotipias (movimientos incontrolados de alguna extremidad, generalmente las manos). Ninguno de los trastornos del espectro autista tiene cura. Todas las terapias están enfocadas a la paliación de los síntomas y a la mejora de la calidad de vida del paciente.

b. Razones para considerar la Robo-Terapia

Un robot programado es un ente predecible, de forma que es posible conocer que reacciones tendrá frente a el comportamiento de un paciente, y brinda la plena confianza de que sus reacciones han de ser siempre las mismas, al contrario que el ser humano. Además posee facciones más reconocibles e imitables, lo que permite a las personas con Trastornos del Espectro Autista (TEA), verlos como “algo” inofensivo. Se ha comprobado que a diferencia de los humanos, los robots desempeñan un mejor trabajo en el proceso de adaptación de los autistas.



Figura 1.6 Empatía de los Niños Autistas hacia el Robot

Fuente: (Globedia, 2013)

c. Ventajas Educativas que brinda el Robot frente a síndromes de socialización:

- Atrae profunda atención en el individuo autista, desarrollando así, la habilidad social básica llamada: atención compartida.
- Favorece la confianza hacia el robot, eliminando amenazas de contacto físico.
- Es adaptativo: Sistema educativo sin distinción de edad o sexo orientado a cualquier tipo de síndrome.
- Control motriz y selección de terapias vía Bluetooth, bajo una aplicación para Smartphones o Tablets.
- Reconocimiento de voz, Lenguaje de programación Open Source y abierto a cambios y mejoras (sensores, cámaras y actuadores).

1.7 Anatomía Facial

Se conoce a la anatomía como la rama de las ciencias biológicas encargada del estudio de las funciones del cuerpo desde el punto de vista de los organismos. La anatomía facial comprende la conformación completa de la cabeza y el cráneo, donde los huesos y los músculos del rostro constituyen la gran extensión del estudio.

1.7.1 El Hueso

Es un tejido duro y resistente que conforma el esqueleto de los vertebrados. Se conforman por tejidos óseos compuestos principalmente por calcio, tejidos conductivos y tejidos conectivos cartilaginosos que permiten adherirse a los músculos, cartílagos y tendones del cuerpo humano. Los huesos se diferencian por las formas y la función específica que desempeñan.

El cráneo es una especie de caja ósea de forma ovoide que constituye una parte del esqueleto humano y cumple con la función de proteger al cerebro en especial del encéfalo, además de sostener y dar la forma característica de toda la cabeza. Los huesos del cráneo son 8: un frontal, dos parietales, dos temporales, un occipital, un esfenoides y un etmoides; como se muestra en la figura 1.7.

Los huesos de la cara se ubican debajo del cráneo con el que forman diferentes cavidades, estos huesos son: dos palatinos, un vómer, dos lagrimales, dos cornetes inferiores dos cigomáticos o malares conocidos como pómulos, un maxilar superior, un maxilar inferior o mandíbula y un hueso nasal.

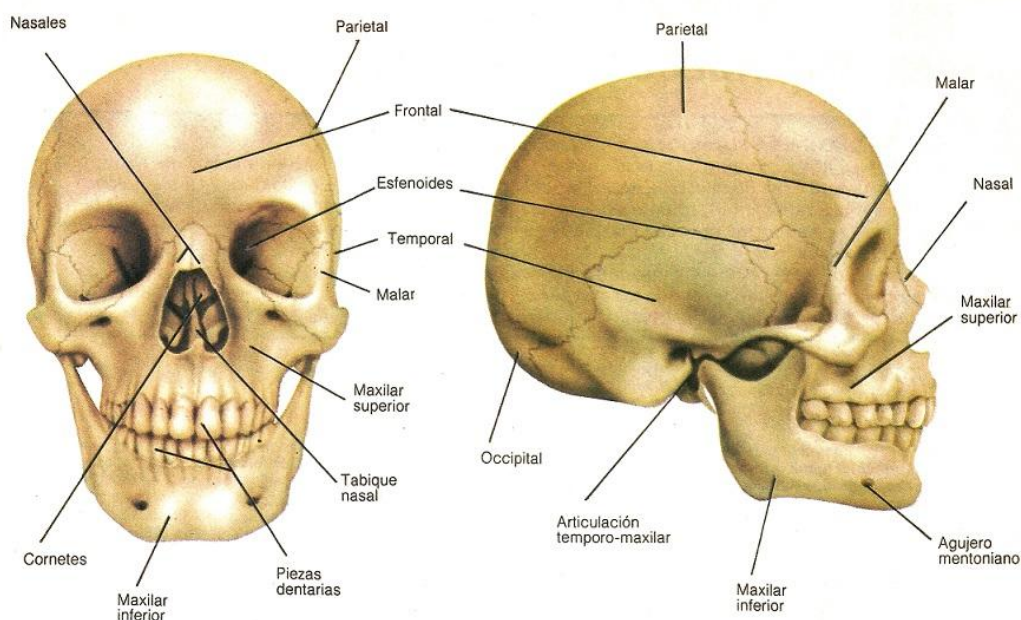


Figura 1.7 Huesos de la Cara y del Cráneo.

Fuente: (Enfermedades, 2010)

1.7.2 El Músculo

Es un haz de fibras que tienen la capacidad de estirarse o contraerse conforme a las órdenes del sistema nervioso. Los músculos faciales en particular están conformados por delgadas fibras carnosas y brindan estabilidad a las articular además de producir movimientos que desencadenan en expresiones faciales. Sus contracciones no dan lugar a engrosamientos de la piel siendo que la mayoría se encuentran en los orificios de la cara y que trabajan simultáneamente dependiendo de la región en la que se localicen. En la figura 1.8 se determinan la posición de algunos de los músculos del cráneo.

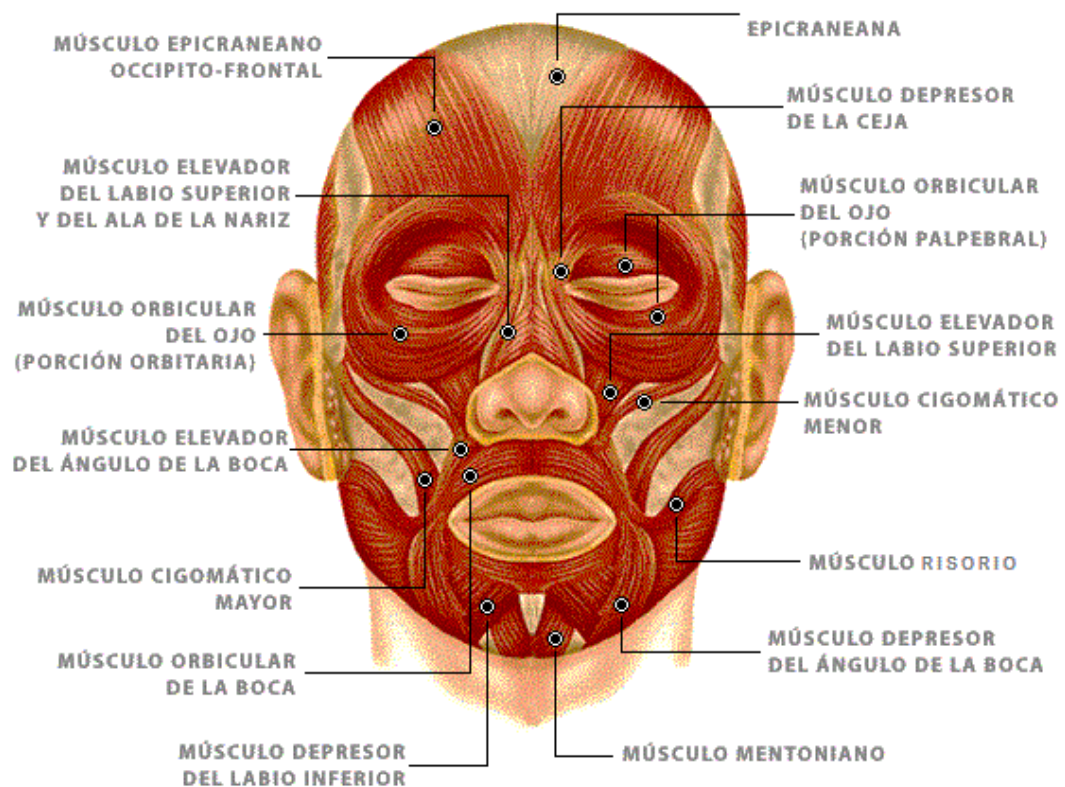


Figura 1.8 Músculos del Cráneo.

Fuente: (Xicote, 2014)



1.8 Comunicación a través de las Emociones

Bajo estudios realizados por la Universidad de Glasgow del Reino Unido, se ha podido determinar que existen al menos seis expresiones de emociones del hombre que se distingue por cualquier persona alrededor del mundo, este estudio concluyó que aunque existe diferenciación cultural para cada población del planeta, existen rasgos muy marcados cuando expresamos emociones como: alegría, tristeza, enfado, sorpresa, miedo y repugnancia. Tales emociones se pueden clasificar como Emociones y Expresiones Faciales Universales. A las mismas conclusiones llegaron los investigadores Paul Eckman y Wallace Friesen en los años 70, previo a desarrollar el FACS (facial action coding system), que es un código de expresiones faciales como un lenguaje comprensivo mundial determinado por el movimiento atómico de los músculos. Comprobando esta teoría; si a un recién nacido que no puede ver, se siente incómodo, llora y frunce el ceño, por otro lado si al mismo bebé, se le hacen mimos y caricias, el niño sonríe y expresa alegría, sin importar la cultura a la cual pertenezca.

Sin embargo los orientales se fijan en la parte inferior de la cara principalmente la boca, para diferenciar el miedo, la repugnancia y la ira; los asiáticos por otro lado utilizan rasgos más marcados en la parte superior de la cara como la apertura de los ojos para expresarse.

Las seis emociones catalogadas como expresiones faciales universales, se identifican en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Emociones y Expresiones Faciales Universales

Emociones Faciales	Manera de Expresar	Emociones Faciales	Manera de Expresar
Alegría 	Contracción del músculo que va por el pómulos al labio superior y del orbicular que rodea el ojo. Las mejillas se elevan.	Tristeza 	Los párpados superiores bajan y el entrecejo se frunce, los labios se estiran de horizontalmente.

Continúa

<p>Enfado</p> 	<p>La mirada fija, cejas juntas y hacia abajo y tendencia a apretar los dientes.</p>	<p>Sorpresa</p> 	<p>Los párpados superiores suben, pero los inferiores no están tensos. La mandíbula cae.</p>
<p>Repugnancia</p> 	<p>Suave contracción del músculo que frunce la nariz y estrecha los ojos. El gesto de la nariz arrugada es junto a la elevación del labio superior.</p>	<p>Miedo</p> 	<p>Se estiran los párpados superiores y los inferiores tensos. Las cejas levantadas se acercan y los labios se alargan hacia atrás.</p>

Fuente: (Psyciencia, 2013)

1.8.1 Emoción y Gesto

Emoción, es un vocablo latino, proveniente de “emotionis” que significa un impulso conducente a la acción. Es un estado anímico que surge por alguna impresión sensorial, o la aparición en la mente de ideas o recuerdos que dan lugar a una conmoción orgánica, que generan alteraciones en los gestos, expresiones, en la atención, y con respecto a las acciones, pueden ser paralizantes o en muchos casos ocasionar conductas agresivas. (DeConceptos, 2010).

Gesto, (del latín gestus) es todo aquel movimiento del cuerpo o del rostro que tiene como objetivo el transmitir emociones a quien los ve o recibe. Es quizás la forma de comunicación no verbal más común, desarrollándose desde las etapas más tempranas de la vida humana. Pese a que muchos gestos humanos son completamente conscientes y voluntarios, una gran mayoría de ellos son producidos de forma involuntaria por nuestro subconsciente. (Sobreconceptos, 2013).

1.9 Sistema de Control

Se llama sistema de control al conjunto de técnicas o métodos que permiten obtener una respuesta específica a una o algunas entradas de un proceso. El concepto de sistema de control aplicado a la Ingeniería, permite que la generación del

conocimiento transforme estas técnicas, dentro de un algoritmo definido para cada caso. (Véase la figura 1.9)



Figura 1.9 Diagrama del Sistema de Control.

Existen tres componentes principales en todo sistema de control:

1. **Entradas:** Son las variables que se han de controlar y que limitan el estado inicial del proceso, también llamado Set Point.
2. **Control:** Es el estado en el que las entradas son modificadas en función a un patrón definido, y que han de actuar en conformidad al algoritmo de control.
3. **Salidas:** Son las variables que desencadenaron el sistema de control.

1.9.1 Sistema de Control en Lazo Abierto

Es el sistema cuyo proceso actúa sobre la señal inicial o de entrada, y da como resultado una señal de salida totalmente independiente a la señal de entrada, sin haber retroalimentación por parte del controlador para ajustar la operación en el transcurso del control, como se muestra en la figura 1.10. En otras palabras el controlador no será afectado por las señales de salida, y que además es independiente al hecho de que exista o no una monitorización en el sistema.

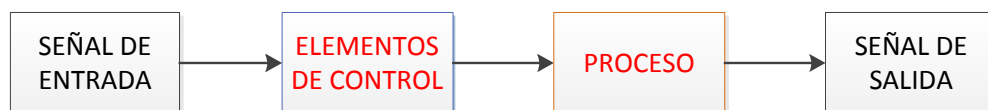


Figura 1.10 Diagrama del Sistema de Control en Lazo Abierto.

La precisión de este sistema obedece de la calibración previa del proceso y resulta confiable si no existe ninguna perturbación en el sistema.

1.9.2 Sistema de Control en Lazo Cerrado

Es el sistema que el controlador es afectado o ajustado por la señal de salida, a lo que se conoce como retroalimentación. Permitiendo que la acción de control regule la salida hasta que sea la adecuada. Para tal efecto el sistema de control es más sofisticado y robusto. El sistema de control en lazo cerrado es indispensable en procesos de gran escala, de entradas múltiples, riesgosas o de alta precisión; en donde la intervención del hombre puede fallar. Por eso se considera a este sistema como más estable ante las variaciones internas o perturbaciones. El diagrama del sistema de control en lazo cerrado se representa en la figura 1.11.

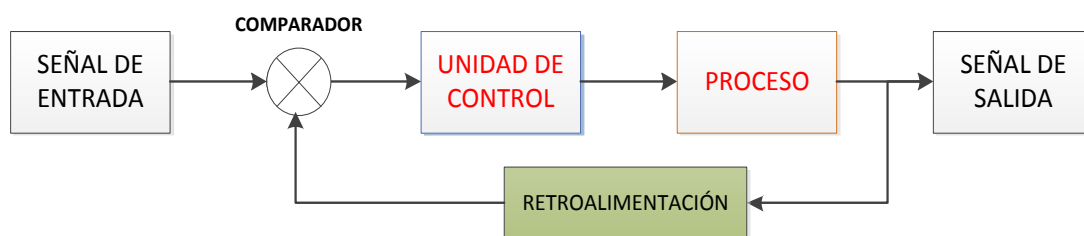


Figura 1.11 Diagrama del Sistema de Control en Lazo Cerrado.

Dentro de los tipos de control existen los sistemas **determinista** y **estocástico**, que se diferencian debido a que el sistema determinista predice la salida del sistema bajo límites de tolerancia, mientras que el sistema estocástico no tiene forma de predecir el comportamiento futuro, para lo cual las salidas se las conoce como variables o aleatorias.

1.10 Comunicación Serial

Es un tipo de comunicación entre dos o más dispositivos que gravita en el envío secuencial de un bit por vez, por lo que se llama serial, debido a que cada bit va uno seguido de otro, o lo que es lo mismo, cada bit va en serie. Implicando que para la transmisión de datos es necesario un solo cable entre los dispositivos y una referencia a tierra. Es posible transmitir de forma serial los datos de un dispositivo a otro y viceversa donde cada dispositivo apalea dos cables, uno como transmisor que es el cable encargado de enviar los datos al otro dispositivo, generalmente representado

como Tx, y el otro cable es el receptor representado con Rx, y es el encargado de recibir la información y finalmente el cable de referencia a tierra.

Para el reconocimiento de la información que se envía y se recibe se utiliza el código ASCII, que representa con un código binario de 8 bits cualquier símbolo, ya sea letra o número. De esa manera la información será transmitida en octetos de ceros y unos, donde previo a cada grupo existe un bit de start (0 lógico), que inicia la comunicación y un bit de stop (1 lógico), que finaliza la comunicación de cada símbolo como se indica en la figura 1.12.

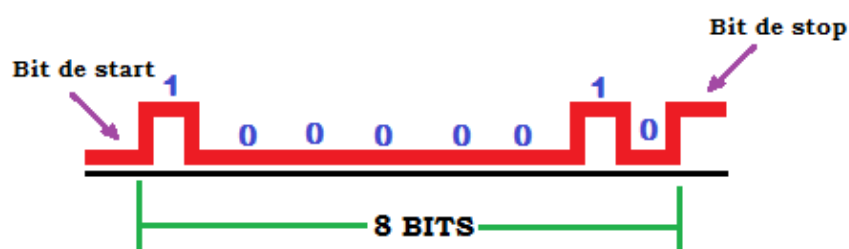


Figura 1.12 Trama de Comunicación Serial.

La velocidad de transferencia de información indica el número de bits que se transmiten en un segundo, se mide en bauds (baudios), siendo la más común de 9600 bauds. Generalmente la tensión de alimentación utilizada, está comprendida entre 4.75 a 5.25 voltios, donde el rango de configuración para el estado bajo comprende valores de 0 a 0.8 voltios y de 2.4 a 5 voltios el estado lógico alto, comúnmente utilizado en la tecnología TTL.

1.11 Hardware del Robot

Todo robot está conformado por las partes tangibles, que reúne al conjunto de elementos electrónicos como partes indispensables para el funcionamiento del robot, entre los cuales se destaca los elementos de entrada y salida de datos, así como los elementos que proporcionan o regulan la energía que requiere el sistema, además de la tarjeta de control que es el “cerebro” del robot.

1.11.1 Tarjeta de Control

Es una unidad de control que posee un chip de memoria no volátil, y microprocesadores que permiten ejecutar la programación que se encuentra en la memoria mencionada. Por lo general utilizan un microcontrolador que está encargado de interpretar el lenguaje de programación y convertir las señales de entrada. Una tarjeta de control necesita de una fuente de poder para funcionar, además posee puertos de entrada y salida que reciben o envían señales digitales o analógicas a velocidades configurables.

Las tarjetas electrónicas de control más comunes en el mercado son: Arduino, Raspberry, PcDuino, LittleBits entre otras.

a. Arduino

Es una placa de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable tipo AVR, y una serie de pines, los cuales están unidos internamente a las patillas de entrada y salida del microcontrolador, y que permite conectar de forma muy sencilla diferentes sensores y actuadores, es decir, es una placa de circuito impreso PCB que implementa un diseño explícito de circuitería interna y permite intervenir directamente sobre conectores electrónicos de entrada o salida. Cuenta con un software que es un entorno de desarrollo específico para las placas Arduino, que aparte de ser gratuito y de tipo Open-Hardware, es un programa multiplataforma debido a que funciona en MacOS, Windows o Linux y además implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (boot loader) que corre con en la placa. Cuenta también con un sinnúmero de “library’s” (bibliotecas), que es un conjunto de instrucciones de un lenguaje de programación agrupadas de una forma coherente y que sirven para proveer funcionalidad extra y excluir la tediosa repetición de instrucciones.

La plataforma Arduino permite ser programado bajo procesamiento de alto nivel, pero a la vez permite utilizar lenguajes de programación y aplicaciones más comunes como: Pure Data, Flash, Java, Processing, entre otros; esto es posible ya que el Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie.

b. Módulo Arduino Mega 2560 (Torrente, 2013)

Dentro una serie de modelos existentes de placas Arduino está la Arduino Mega (figura 1.13), que está basada en el microcontrolador ATmega2560. Y que a diferencia de las otras placas Arduino, la arduino mega tiene 54 pines de entrada/salida digitales de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas analógicas PWM, 16 entradas analógicas y 4 receptores/transmisores serie TTL-UART que se denotan en la placa con una letra y un número entre 0 al 53.



Figura 1.13 Arduino Mega 2560.

Fuente: (ARDUINO, 2004)

Consta de una memoria Flash de 256 Kilobytes de los cuales 8 están reservados para el boot-loader, una memoria SRAM de 8 KB y una EEPROM de 4KB. El voltaje de trabajo es de 5 Voltios.

Tabla 1.2 Características del Arduino Mega 2560

Microcontrolador	Atmega 2560
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limites)	6-20V
Pins Digitales I/O	54 (de los cuales 15 proveen salidas PWM)
Pins de Entrada Analógica	16
Corriente DC por cada pin I/O	40 mA
Corriente DC por cada pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB y 8 KB usado para el bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de Reloj	16 MHz

Fuente: (ARDUINO, 2004)

1.11.2 Unidad de Reconocimiento del Habla

Es un elemento electrónico que compara una señal o espectro electroacústico frente a otros cuantos previamente almacenados, y produce una señal de salida (comando) cuando dicho espectro es similar al almacenado.

a. Módulo de Reconocimiento de Voz V2 (Elechouse, Voice Recognition Module V2, 2008)

El módulo V2 (ver figura 1.14), permite reconocer la voz del hablante. Recibe comandos de configuración o responde a través de interfaz de puerto serie. Este módulo puede almacenar un máximo de 15 piezas de las instrucciones de voz. Esas 15 piezas se dividen en 3 grupos, con 5 en cada grupo. Es imperioso entrenar previamente al módulo con instrucciones de voz del grupo por grupo con los espectros electroacústicos de voz que serán reconocidos por este dispositivo. Posteriormente se debe importar por el puerto serial un grupo antes de que pudiera volver a reconocer las instrucciones de voz 5 dentro de ese grupo. Este módulo es voz-dependiente, lo que quiere decir que solamente reconoce la frecuencia con la que el hablante previamente entrenó o la frecuencia que éste generó.



Figura 1.14 Módulo de Reconocimiento de Voz V2.

Fuente: (Elechouse, Voice Recognition Module V2, 2008)

Tabla 1.3 Parámetros de Funcionamiento del Módulo de Reconocimiento de Voz.

Funcionamiento Módulo de Reconocimiento de Voz V2	
Voltaje	4.5-5.5V
Corriente	<40mA
Digital Interface	Interfaz UART nivel 5V TTL y GPIO
Interfaz analógica	Conector de micrófono mono-canal de 3,5 mm + micrófono interfaz pin
Tamaño	30mm x 47.5mm
Precisión	99% (en un entorno ideal)

Fuente: (Elechouse, Voice Recognition Module V2, 2008)

Este módulo se puede configurar mediante el envío de comandos a través del puerto serie. Configuración no se borrarán después de apagado. Su interfaz es de 5V.

El formato de serie de datos: 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de stop. La velocidad establecida es de 9600 baudios, misma que puede ser modificada por el usuario a través de comandos AT. El módulo de reconocimiento de voz V2 puede interactuar con una tarjeta de control arduino a través del puerto serial (Tx y Rx), permitiendo transferir los comandos de programación. Además para su funcionamiento se debe contar con un transductor electroacústico que convierta las ondas sonoras en energía eléctrica, conocido como micrófono.

1.11.3 Unidad de Reproducción de Audio

Es un mecanismo electrónico que reproduce los archivos de audio existentes en una memoria específica a la que el dispositivo soporta. En la actualidad los módulos de reproducción de audio forman parte de la mayoría de elementos partiendo desde juguetes hasta cajeros electrónicos, ascensores e incluso instrumentos industriales automatizados debido a la flexibilidad, funcionabilidad y fidelidad que son unas de sus prestaciones más importantes.

a. Módulo WTV020-SD-16P Mini

El módulo WTV020-SD-16P mini, mostrado en la figura 1.15, es un dispositivo muy pequeño que se encarga de reproducir los archivos de audio almacenados en una tarjeta de memoria tipo Micro SD ya sea en formato AD4 o WAV.

Puede usarse en dos tipos de configuraciones, ya sea en control serial o en control independiente por núcleo, donde cada pin específico puesto a tierra puede funcionar como selectores (play, stop, control de volumen, etc). Puede funcionar con un voltaje de alimentación de 3.3 voltios o configurarse para funcionar a 5 voltios, bajo una corriente menor a 40 mA en estado activo; además está conformado por 16 pines de los cuales 4 no tienen un funcionamiento alguno.



Figura 1.15 Módulo WTV020-SD-16P.

Fuente: (Elechouse, Wav/ad4 mini sd card module, 2010)

Tabla 1.4 Parámetros de Funcionamiento del Módulo WTV020-SD-16P

Funcionamiento del Módulo WTV020-SD-16P	
Voltaje de funcionamiento	2.7-3.5V
Corriente en inactivo	3uA
Tipo de tarjeta que soporta	Micro SD de hasta 1GB
Formatos de audio que soporta	AD4 o WAV
Taza de muestreo formato de voz	6-36Khz en AD4 y 6-16KHZ en WAV
Tamaño	17.4mm x 20.6mm

Fuente: (Elechouse, Módulo WTV020-sd, 2008)

Para seleccionar un archivo de la tarjeta en el modo serial, requiere que el archivo esté numerado con una serie de cuatro dígitos empezando desde el 0001, de manera que al momento de llamarlo a través de un comando, el módulo pueda seleccionar es archivo requerido. También puede amplificarse la salida de audio, conectando los pines 4 y 5 que corresponden a la salida de audio tipo PWM.

Tabla 1.5 Distribución de Pines del Módulo WTV020-SD-16P

Distribución de Pines Módulo WTV020-SD-16P			
PIN	Nombre	Descripción	Función
1	Reset	Reset	Pin de reseteo
2	Audio -L	Dac+	Dac salida (+) audio a amplificador
3	nc	nc	No conectado
4	Sp+	PWM+	PWM salida de audio a altavoz
5	Sp-	PWM-	PWM salida de audio a altavoz
6	nc	nc	No conectado
7	P04	K3/A2/CLK	Key/CLK en serial de dos líneas
8	Gnd	Gnd	Tierra de alimentación
9	P07	K5/A4/DI	Key

Continúa

10	P05	K4/A3/DI	Key/ DI en serial de dos líneas
11	nc	nc	No conectado
12	P03	K2/A1	Key
13	P02	K1/A0	Key
14	nc	nc	No conectado
15	P06	Busy	Pin de estado ocupado
16	Vdd	Vdd	Entrada de alimentación

Fuente: (Elechouse, Módulo WTV020-sd, 2008)

1.11.4 Comunicación Inalámbrica

Es una forma de comunicación en la que entre el emisor y el receptor no existe ningún medio físico que sirva como transporte de la información, sino que utiliza la modulación de ondas de radiofrecuencia de potencia baja como medio o canal entre estos, permitiendo movilidad y flexibilidad en la transmisión, pero sometido a la vez a interferencias producidas por el medio ambiente y por otros equipos.

a. Tecnología Bluetooth

Una de las opciones más viables últimamente para transmitir datos de manera inalámbrica de área personal WAN, sin duda es el bluetooth, porque permite transmitir una serie de datos usando radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz, norma que cumple con el objetivo de facilitar la sincronización de datos entre equipos personales punto a punto, por lo que se utilizan comúnmente en teléfonos celulares, tablets y ordenadores.

b. Módulo Bluetooth HC-07



Figura 1.16 Módulo Bluetooth HC-07.

Fuente: (Fasttech, 2012)

Es un módulo que a más de ser económico, su consumo es bajo tanto en funcionamiento como es estado stand by. Permite transmitir hasta 1.3 Mbps en

tensiones de entre 3.1 a 6 voltios con una distancia de hasta 10 metros. Posee una antena interna y está configurado para reconocer comandos AT, de manera que puede obedecer a diferentes velocidades de comunicación previo a la reprogramación del mismo, inicialmente la velocidad de comunicación es de 9600 baudios. El consumo de corriente para realizar un emparejamiento es de entre 30 a 40 mA. (García, 2012)

Es necesario mencionar que es compatible con la plataforma arduino debido a que a través de sus cuatro pines de conexión establece una comunicación serial.

1.11.5 Actuadores Eléctricos

Un actuador es un elemento que provoca una fuerza, o que “actúa” como convertidor de energía. En el caso de un actuador eléctrico, se considera al elemento que transforma la energía eléctrica en una energía motriz. Los **motores** son actuadores eléctricos rotatorios que funcionan gracias el magnetismo provocado por energía eléctrica.

a. Servomotores

Los servomotores son actuadores eléctricos rotatorios, que a diferencia de los motores, controlan el posicionamiento del eje principal dentro de un rango de operación, y puede que también puede mantenerse fijo en una posición señalada. Además presentan las siguientes características: Posee un tamaño pequeño, genera un torque fuerte en relación al tamaño, tiene un peso reducido, además de fiabilidad, estabilidad y versatilidad a baja tensión. (Roldán, 2014)



Figura 1.17 Servomotor Plástico de Corriente Continua.

Fuente: (Voltix, 2014)

b. Funcionamiento del Servomotor

El servomotor se compone de un motor de corriente continua unido por el eje a una caja reductora que es un conjunto de engranajes encargados de estabilizar la posición del eje final de acuerdo al voltaje suministrado por un potenciómetro interno, que es controlado por un circuito que interpreta señales moduladas por ancho de pulso PWM para establecer la posición y dirección del eje del servomotor.

La mayoría de servomotores funcionan a una frecuencia de 50 Hz que representan un tiempo de 20 milisegundos en cada periodo. Al recibir un pulso de 0,5 milisegundos en un periodo, el posicionamiento del eje está en el extremo que se denota en la figura 1.20 como -90 grados, y que puede ser tomado como la posición de 0 grados. Si el ancho de pulso aumenta, se produce un giro en sentido horario hasta llegar a 180 grados (+90 en la figura 1.18) que corresponde a un ancho de pulso de 2,5 milisegundos. Si el ancho de pulso disminuye, produce un giro en sentido antihorario.

Los servomotores comunes alcanzan a girar 180 grados teóricamente, puesto que en realidad consiguen hasta 10 grados más.



Figura 1.18 Funcionamiento de un Servomotor (HS-422).

Fuente: (Superrobotica, 2014)

Los servomotores disponen de tres cables, de los cuales dos son usados para alimentación (Vcc y Gnd) de entre 4.8 y 6 voltios a una corriente de 40 miliamperios; y otro cable para otorgar el tren de pulsos, permitiendo que el circuito de control

diferencial interno coloque al servomotor en la posición indicada por la anchura del pulso.

1.11.6 Fuentes de Alimentación de Energía

Es un dispositivo que suministra energía eléctrica a una carga eléctrica, y se caracteriza por regular o controlar el voltaje o corriente de salida. Las fuentes obtienen la energía de generadores, alternadores, también de la energía solar o comúnmente de sistemas de transmisión de energía eléctrica. A las pilas, baterías también se les considera como almacenadores de energía, las principales diferencias se especifican por el tiempo que pueden suministrar energía sin recargar, la cantidad de corriente y voltaje que suministren y la estabilidad del voltaje y corriente, de lo contrario las fluctuaciones de la tensión de alimentación repercuten en las señales de salida de los circuitos. (Pallás, 2003)

Tipos de Fuentes de Alimentación:

- a. Fuentes Lineales Fijas.- El regulador se comporta como una resistencia variable, permitiendo que el voltaje sobrante se disipe en forma de calor.
- b. Fuente Lineales Reguladas.- Permite obtener diferentes tensiones bajo el control de la resistencia de salida.
- c. Fuentes Conmutadas o Switching.- Transforma la energía mediante transductores de conmutación obteniendo un mejor rendimiento ante cargas variables.

1.11.7 Elementos de Protección Contra Sobrecorrientes

Son dispositivos que actúan al momento de existir un exceso en el valor nominal al indicado en tal dispositivo. Esta sobre corriente puede causarse debido a una sobrecarga, una falla a tierra o un cortocircuito. Entre los elementos de protección se encuentran los **Fusibles** que son elementos que se funden y se abren, al momento que circula una corriente de mayor capacidad a la de su valor nominal y que se muestra en la figura 1.19. Los **Interruptores Termomagnéticos** son elementos muy sensibles

que al igual que los fusibles, dejan de conducir la corriente superior a la establecida. Así también existen los **Relevadores de protección** que a diferencia de los fusibles, se utilizan en dispositivos industriales. (Toborino, 2012)



Figura 1.19 Fusible.

Fuente: (Integral, 2004)

1.11.8 Transductor Electroacústico

Un transductor electroacústico es un dispositivo electrónico que cumple con la función de convertir una señal auditiva en un conjunto peculiar de oscilaciones o vibraciones, que es conocido como espectro electroacústico, y que no es otra cosa que energía eléctrica. También pueden generar un sonido al invertir su procedimiento, y qué según la forma de producir o extraer estas vibraciones sonoras, se puede diferenciar en:

- Transductores Electrostático o de Condensador
- Transductores Piezoeléctricos
- Transductores Magnéticos
- Transductores Dinámicos
- Transductores de carbón.

a. Micrófono

Un micrófono es un transductor electroacústico que convierte la energía en un solo sentido utilizando un diafragma que compone una onda acústica producida por las variaciones de presión que genera un sonido; y que luego es percibida por un

condensador que se encarga de transformar esta energía mecánica en energía eléctrica a través de la variación de la capacidad de carga.



Figura 1.20 *Micrófono – Transductores Electroacústico de Condensador.*

Fuente: (Some, 2012)

b. Altavoz

Es un transductor electroacústico que convierte energía eléctrica en acústica. Esto es posible debido a que el altavoz o parlante recibe la energía eléctrica en una bobina, la que por estar sumergida en un campo magnético producido por un imán; mueve a un cono, generando ondas de presión conocidas como sonido, mismas que se expande a través del aire que rodea el altavoz. Un modelo común de parlantes de audio permite reproducir sonidos en una gama de 20Hz a 20Khz a un consumo de hasta 3W de energía.



Figura 1.21 *Altavoz - Transductor Electroacústico Magnético*

Fuente: (Cedazo, 2011)

1.12 Software del Robot

Constituye el conjunto de programas de cómputo, en los cuales se especifican, analizan, diseñan y simulan tanto los materiales mecánicos y electrónicos del rostro robótico, así como la programación interna que requiere el robot para su funcionamiento.

SolidWorks.- Es un software que permite realizar diseño y modelamiento mecánico en 3D, el cual incorpora asistentes de simulación de resistencia estructural así como estudios de movimiento, es decir un estudio completo en contenidos de CAD/CAM.

IDE de Arduino.- Sus siglas significan “Entorno de desarrollo integrado”, puesto a que esta plataforma permite realizar la codificación conocida como “sketch”, que posteriormente se descargará en la placa Arduino, conectada al ordenador como un periférico común. Dicho software es de tipo Open-Source, el cual reconoce lenguajes de programación como el C entre otros, además incorpora una serie de “librerías”, que son subprogramas que simplifican la codificación del sketch principal; así como herramientas de verificación y compilación del sketch antes de ser cargado en la placa.

MDSolids.- Es un programa diseñado para el cálculo y análisis estructural de materiales.

App Inventor.- Es un software implantado por Google Labs, que permite el desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Android bajo el entorno Java. Es un sistema gratuito que se caracteriza por su simplicidad y flexibilidad en el cual el usuario puede crear aplicaciones mediante el uso del lenguaje visual a partir de bloques.

Audacity.- Este software permite grabar y editar sonidos a través de una interfaz multiplataforma de código abierto. Además de contar con herramientas que corrigen defectos y reducen el ruido de un archivo de audio.

Virtual Bread Board.- Es un programa gratuito que permite esquematizar la construcción de circuitos electrónicos y comprobar su funcionamiento de manera

virtual. El cual contiene una amplia gama de componentes electrónicos, aunque existen módulos de expansión del software que requieren pago.

Proteus/Isis.- Es un software que permite diseñar planos de conexión electrónica, El mismo que representa de manera gráfica tanto los elementos electrónicos como el cableado que acopla a cada componente.

Proteus/Ares.- Es un programa computacional que permite editar y elaborar pistas de conexión de componentes electrónicos, que se utilizan para elaborar placas de circuito impreso.

CAPÍTULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Previo al análisis estructural para realizar el diseño y selección de materiales y elementos, se requiere establecer la geometría interna del rostro robótico, teniendo en cuenta primeramente la fisonomía y los movimientos característicos del rostro. Posteriormente se dividirá el sistema de acuerdo a la ubicación, posición y características como peso, dirección de movimientos y lugares de soporte, para finalmente describir de forma puntual cada elemento y proceder al diseño antes mencionado.

2.1 Geometría del Sistema y Distribución por Regiones del Rostro Robótico

Para determinar la geometría del sistema, se requiere un análisis dinámico pertinente al rostro robótico, en donde se defina los lugares geométricos adecuados conforme a un sistema de coordenadas, y que servirá para asentarán los centros u orígenes para cada elemento, definiendo conforme a este análisis, los grados de libertad que posee el robot. En la figura 2.1, se muestran los movimientos característicos del rostro, que se describen en la tabla 2.1 frente a las acciones de las personas.

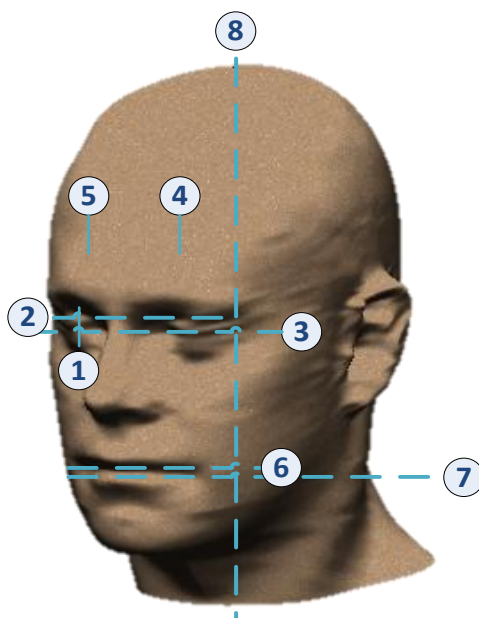


Figura 2.1 Geometría del Movimiento de la Cabeza.

Tabla 2.1 Descripción Dinámica del Rostro Robótico.

Posición	Parte / Órgano	Movimiento	Descripción usual del movimiento
1	Ojos	Derecha - Izquierda	Para mirar en perspectiva horizontal
2	Ojos	Arriba - Abajo	Para mirar en perspectiva vertical
3	Párpados	Arriba - Abajo	Para humedecer y proteger los ojos
4	Ceño Izquierdo	Relajar - Fruncir	Permiten expresar sorpresa o enfado
5	Ceño Derecho	Relajar - Fruncir	Permiten expresar sorpresa o enfado
6	Mandíbula	Apertura - Cierre	Se conoce como abrir la boca
7	Cabeza	Arriba - Abajo	Se utiliza para admitir
8	Cabeza	Derecha - Izquierda	Se utiliza para negar

Es necesario mencionar que la dinámica que acoge el robot simula el comportamiento de una serie de músculos y tendones del ser humano que al contraerse o relajarse, provocan el movimiento del cuerpo en general.

Para distribuir cada parte u órgano dentro de una región específica, se ha dividido en cuatro regiones a la cabeza del robot: región frontal, región craneal, región maxilar y la región yugular; mismas que se muestran en la figura 2.2.

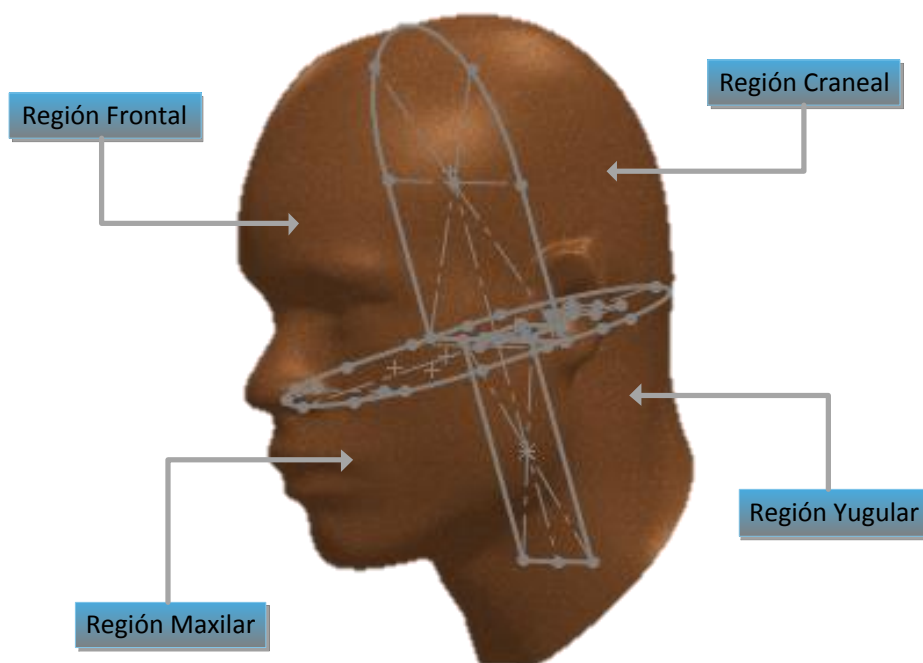


Figura 2.2 División Estructural de la Cabeza Robótica.

- La **Región Frontal** se limita por un corte horizontal desde el inicio de la nariz y por un corte vertical al inicio del pabellón auricular. Comprendiendo el contorno de la frente así como los ojos, nariz y pómulos superiores. En esta cuarta parte de la cabeza se encuentran la mayoría de los movimientos que el robot va a realizar, descrito en la tabla 2.1 como las posiciones 1 al 5 correspondiente al movimiento del ceño izquierdo y derecho, al movimiento de los ojos tanto arriba y abajo como de izquierda a derecha y al movimiento que realizan los párpados.
- La **Región Craneal** está conformada por la parte posterior a la región frontal (respetando los límites de la misma), y es donde se asienta el cabello. En esta región no existe ningún órgano, por lo que tampoco hay un movimiento.
- La **Región Maxilar** comprende a toda la extensión de la boca, es decir se define hasta el corte transversal bajo la nariz, y se ubica bajo la región frontal. En esta región se desarrolla el movimiento de la mandíbula conocido comúnmente como abrir y cerrar la boca.
- **Región Yugular** es la cuarta región sobrante de la cabeza y se ubica bajo la región craneal. A esta región corresponde el movimiento de la cabeza hacia abajo y hacia atrás.

Las regiones frontal y craneal se asientan sobre una delgada lámina de contorno ovalado, como se muestra en la figura 2.2, que bien puede suponer como la plataforma donde no solo se afirma la parte superior del cráneo, sino que además soporta a los maxilares superior e inferior, y al fulcro encontrado en la posición 5, que genera el movimiento de cabeza hacia abajo y hacia atrás. Dicha base se describirá posteriormente.

2.2 Diseño Mecánico.

Como parámetros de diseño se tomará en cuenta las siguientes premisas:

- ✓ El tamaño del rostro robótico, así como el torso del mismo (como elemento de soporte), deben ser conforme a las dimensiones y características de una persona normal de sexo masculino.
- ✓ El peso del rostro robótico debe ser no mayor a 6 kilogramos como medida aproximada.
- ✓ El rostro robótico debe conservar su posición y estabilidad como conjunto, ya sea al estar apagado o prendido.
- ✓ Las componentes de sujeción no deben ser visibles por ningún motivo, de manera que no altere la apariencia final.

2.2.1 Materiales Principales y sus Características

El rostro robótico se conformará por tres materiales principales:

- a) el **Látex** cubrirá el rostro robótico brindando una apariencia a piel humana.
- b) la **Fibra de Vidrio** es el material que brinde la figura y el contorno general.
- c) el **Acero ASTM A-36** constituye el material que conforman ángulos, platinas y láminas, que conformarán la base interna en donde se afirmen los diversos componentes electrónicos y mecánicos del rostro robótico.

2.2.2 Propiedades de los Materiales

a. Látex

Es un material elástico que está compuesto por sustancias químicas naturales derivadas del caucho. Puesto a que su presentación es líquida, puede pigmentarse hasta obtener un color similar al de la piel de un ser humano, lo que permitirá que al tomar el molde de un rostro pueda ser usado como una careta.

El látex es de fácil elongación, de un peso menor al caucho y se solidifica al contacto con el oxígeno del aire.

b. Fibra de Vidrio

Son hebras muy delgadas que se obtienen por el estiramiento del silicato al haberse fundido y que forman una malla muy flexible y fibrosa, permitiendo a la vez ser moldeable en este estado. Al integrarse con productos sintéticos como la resina, se solidifica adquiriendo características de dureza y resistencia parecidas a un metal, pero conservando la flexibilidad molecular y un peso relativamente ligero.

Para acelerar el proceso de solidificación de la resina, se añade un catalizador justo antes de ser aplicado a la malla de hebras de vidrio. Este catalizador activa la reacción molecular de la resina, permitiendo una compactación parecida al cemento y su uso no debe pasar al 5% de la resina en términos porcentuales.

c. Acero ASTM A-36

Es un tipo de Acero bajo en carbono y que usualmente forman parte de soportes y cubiertas debido a sus propiedades físicas, siendo un material comercialmente disponible. Se puede encontrar este tipo de acero en perfiles, ángulos, láminas entre otros a bajo costo. Las propiedades de este material se detallan en el Anexo A-3 extraído del Libro de Diseño de Elementos de Máquinas. (Mott, 2006).

2.2.3 Diseño del Ensamble Interno del Rostro Robótico

La Figura 2.3 muestra el ensamblaje interno de los componentes mecánicos, donde se incluyen los ojos y los dientes del robot, mismos que son características principales de los seres humanos.



Figura 2.3 Diseño del Ensamble Interno del Rostro Robótico.

2.3 Selección y Justificación de Materiales.

Para especificar la constitución y el análisis de cada uno de los materiales, se acudirá a definir bajo las cuatro regiones antes mencionadas.

2.3.1 Región Frontal

a. Selección de Materiales

La región frontal exterior, así como la mayormente constitución externa del robot se realizará en fibra de vidrio.

b. Dilucidación

Debido a que la región frontal es un solo conjunto, que no soporta ningún peso adicional a parte del látex (que por su textura tiene un peso bastante bajo), se considera como un objeto libre. Está compuesto por el sistema de ojos y el sistema de ceño que son insertados y pegados al cráneo de fibra de vidrio específico para esta región como se muestra en la figura 2.6. El peso total de esta pieza es de 1.22kg.

c. Sistema de Ojos

El sistema de ojos consta de una base plástica en forma de H invertida, que sostiene un anillo en cada lado como se muestra en la figura 2.4. En los extremos de los anillos se encajan diminutos pernos que cumplen con ser guías de otros anillos internos de menor diámetro, que cumple las funciones de los párpados del robot. Dentro de estos anillos internos se ubican los ojos del robot sujetos por dos pernos que están sujetos a un soporte ubicado en la parte posterior del sistema. Los ojos son dos esferas de policarbonato que exponen un acabado brillante.

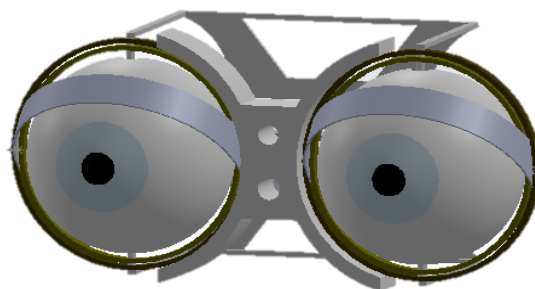


Figura 2.4 Sistema de Ojos del Rostro Robótico.

d. Sistema de Ceño

Para aparentar las emociones del robot, se propone un sistema de ceño que irá ubicado en la frente del robot, donde tanto a la izquierda como a la derecha se consideran un micro servo que se encargue de levantar y bajar el latex (piel del robot) de la frente, para que el robot simule emociones como sorpresa y enfado. Este movimiento lo ejecutarán dos acoples en forma de cejas, mostrado en la figura 2.5.

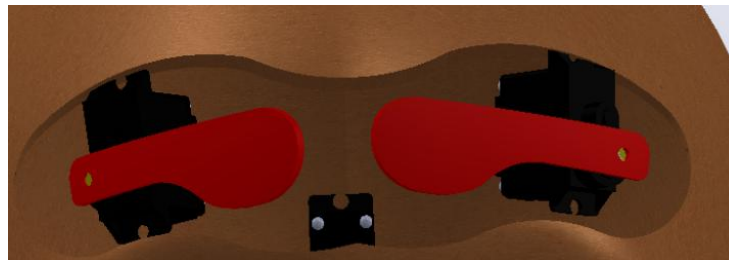


Figura 2.5 Sistema de Ceño del Rostro Robótico.

El resultado final de la región frontal conforma el sistema principal del rostro robótico como muestra la figura 2.6.

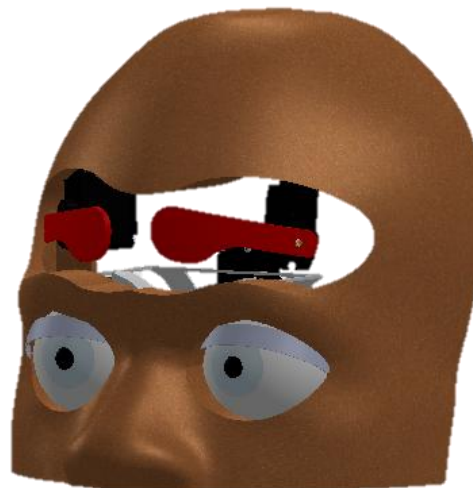


Figura 2.6 Diseño de la Región Frontal del Rostro Robótico.

e. Justificación de la Región Frontal

Es necesario distribuir el peso dentro de la región frontal, debido a que en esta zona se encuentra la mayor cantidad de movimientos del rostro robótico, en un total de cinco grados de libertad, para lo cual primeramente se adhieren en el soporte de

fibra de vidrio todos los componentes mencionados; además de dos servo motores encargados de proporcionar el movimiento a cada una de las cejas y un servo motor que permite ejecutar el movimiento de los ojos hacia derecha e izquierda.

Los movimientos de los párpados y de los ojos hacia adelante y atrás serán ejecutados por dos servomotores ubicados fuera de la región frontal y que transmitirán el movimiento por medio de alambres, esto con el propósito de no sobreponer excesivamente el peso en esta área.

2.3.2 Región Craneal

a. Selección de Materiales

Al igual que la región frontal, la región craneal se toma la alternativa de realizarla en fibra de vidrio, teniendo en cuenta las características que presta este material.

b. Dilucidación

Se considera a la región craneal del rostro robótico, la zona que no genera ningún tipo de movimiento y que estará cubierta por el cabello artificial del robot, y conserva las dimensiones nominales de una persona. El peso de esta parte es de 0.42 Kg, para efectos de cálculos posteriores. La región craneal se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7 Diseño de la Región Craneal del Rostro Robótico.

c. Justificación de la Región Frontal

La fibra de vidrio se constituye en el hueso craneal del rostro robótico, teniendo en cuenta que la región craneal viene además a ser una tapa que permitirá cubrir al cráneo del robot una vez que esté completamente armado y funcionando.

2.3.3 Región Maxilar

La región maxilar representa en su totalidad a la boca de una persona, que se caracteriza por abrirse y cerrarse, ya sea para hablar o para producir emociones como la caracterización conocida como sorpresa.

a. Selección de Materiales

Siendo la fibra de vidrio el material que brinda la estructura ósea del robot, es necesario obtener una pieza que contenga el contorno del maxilar superior, así como otra que además de brindar la forma característica a la boca, sostenga la dentadura artificial que tendrá el robot.

b. Dentadura

Como se muestra en la figura 2.8 la dentadura del robot es un conjunto de dientes hechos de Ivorina que le dan la peculiaridad de realista, y que junto a las encías proporcionan al robot una característica particular en los seres humanos.

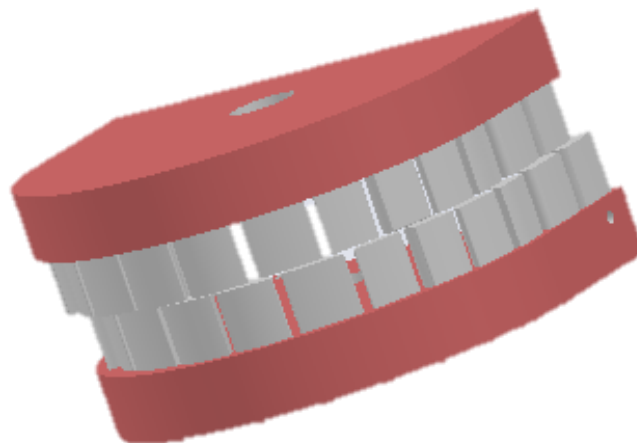


Figura 2.8 Dentadura del Rostro Robótico.

c. Dilucidación

La región maxilar pesa 0.247kg en conjunto. El maxilar inferior se mueve debido a dos pequeños rodamientos que se encuentran en los extremos internos y que están sujetas a las guías que proporciona la base central del rostro robótico. Para el montaje de estas sujeciones es necesario soldar las mismas a la base una vez que se contenga la pieza, ya que la fibra de vidrio no se puede estirar porque se rompe o se deforma.

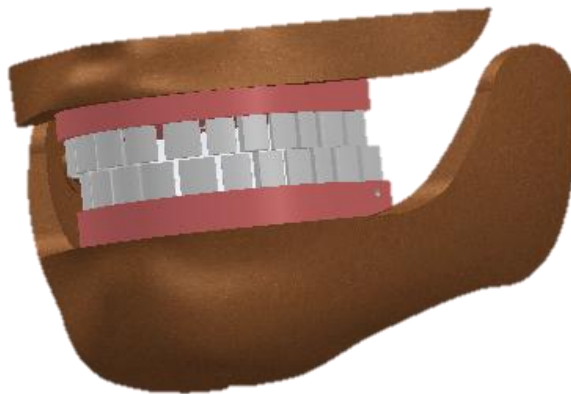


Figura 2.9 Diseño de la Región Maxilar del Rostro Robótico.

d. Justificación de la Región Maxilar

El movimiento de la boca es una característica primordial del rostro robótico, y que otorga junto a las demás regiones descritas, la forma y el modelo particular de la estructura humana. A diferencia de los músculos de la cara, es el lugar en donde se extiende más la piel, lo que debe considerarse al momento de elaborar los moldes que conforman la disposición del robot.

2.3.4 Región Yugular

Esta región es totalmente flexible y cualquier material que se pueda considerar terminaría siendo de estorbo para el movimiento de la cabeza, por lo que se define como un lugar vacío, y que al ser cubierto tanto de la piel (látex) y el cabello artificial, no consentiría observar una diferencia específica.

2.4 Base Mecánica del Robot

La base mecánica (contemplada por la figura 2.10), está constituida por elementos rígidos, que cumplen con las labores de sostener a una cada región del rostro robótico mencionada anteriormente.

Además de brindar estabilidad a cada elemento conservando la estética final similar a una persona y siendo parte del acople definitivo. Esta base constituye el puntal principal por medio del cual el rostro robótico puede funcionar independientemente.

La base mecánica del rostro robótico consta de diferentes elementos que se detallan en la tabla 2.2.

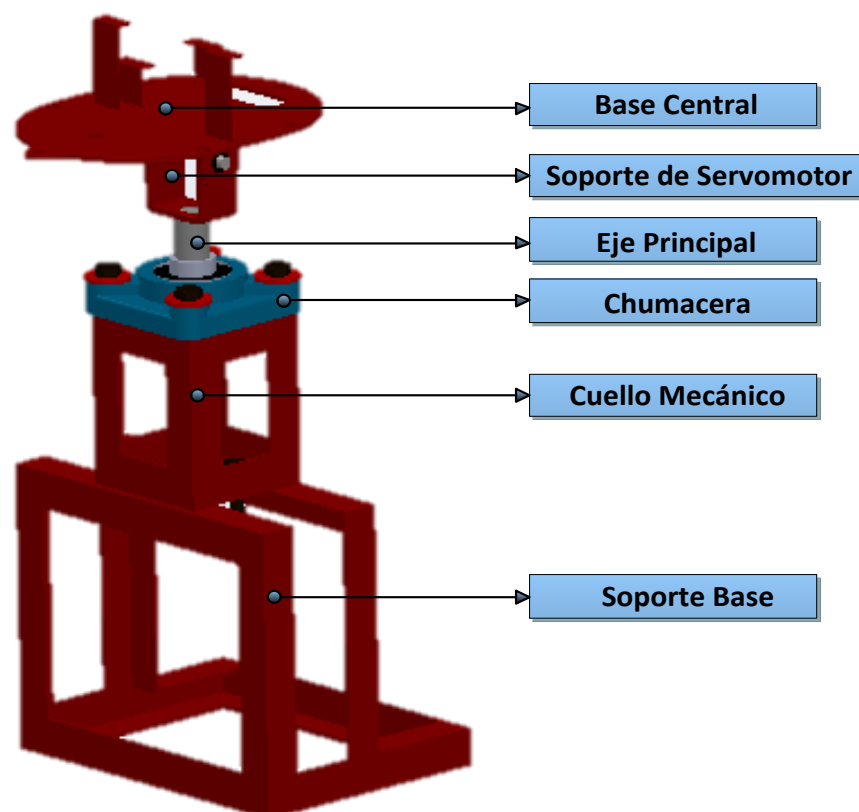


Figura 2.10 Descripción individual de la Base Mecánica del Rostro Robótico.

Tabla 2.2 Descripción detallada de la Base Mecánica del Rostro Robótico.

Parte	Ubicación	Funcionamiento
Soporte Base	Asegurado dentro del torso del robot	Base donde se asienta el rostro robótico y soporta el peso.
Cuello Mecánico	Sobre el Soporte base del robot.	Sujeta a la chumacera y al servomotor posición 8 (tabla 2.1) además de transmitir el peso del rostro.
Chumacera	Asegurado al cuello mecánico del robot	Sostiene al eje principal a través el rodamiento y transmite el peso del rostro robótico.
Eje Principal	Dentro del rodamiento de la chumacera	Trasmitir el movimiento desde el servomotor de posición 8 ubicado bajo el cuello mecánico hacia el rostro robótico.
Soporte de Servomotor	Roscado al eje principal del robot	Sostiene al servomotor correspondiente a la posición 7 (tabla 2.1) y transmite el movimiento del eje.
Base central	Sostenido por el eje del servomotor encontrado dentro del soporte.	Integra a la región frontal, craneal y maxilar en un solo conjunto, Soporta tanto la placa de control como a los servomotores de la posición 2,3 y 6 (tabla 2.1).

2.5 Análisis Estructural del Robot

Para poder analizar el comportamiento estructural del robot, es necesario definir las partes que componen el rostro robótico, por lo que se considera el peso de cada región como el factor determinante ante el estudio estructural, ya que no existe ningún elemento externo que altere el comportamiento mecánico del robot, debido a que no se ha de añadir ninguna fuerza externa o cortante durante su ejecución. Los pesos finales, incluido los materiales electrónicos y demás elementos de las regiones, son los siguientes:

- Peso de la región frontal: $P_f = 1.22kg$
- Peso de la región maxilar: $P_m = 0.247kg$
- Peso de la región craneal: $P_c = 0.42kg$

2.5.1 Análisis Estructural de la Base Central del Rostro Robótico

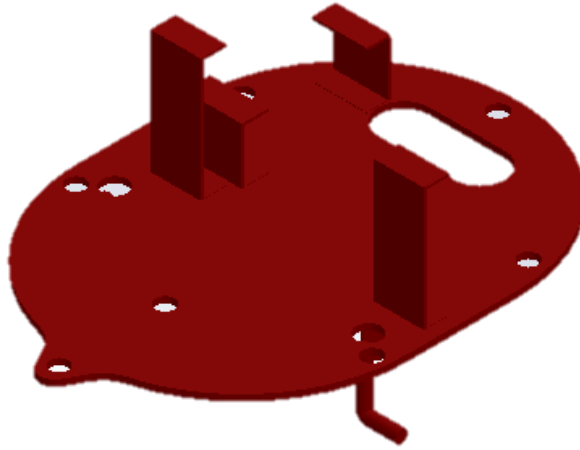


Figura 2.11 Base Central del Rostro Robótico.

Corresponde a la base en donde se acoplan las regiones del rostro robótico permitiendo que conformen un solo conjunto. Y está sujeto al engrane del servo motor, de manera que el mismo le proporcione el movimiento, que permite que el rostro robótico baje y levante la cabeza.

Tiene una principalmente una forma ovalada con una punta en uno extremo y un agujero en la misma superficie que permitirá pasar los cables que sean necesario, además de perforaciones para la sujeción de las regiones frontal, craneal y maxilar. Debido a estas irregularidades además de los soportes que están soldados para sujetar otras piezas del rostro robótico, se considera como una superficie indeterminada y que no se presta a hacer un cálculo estructural significativo y real.

Se escoge al Acero ASTM A36 (ver Anexo A-5), como material de la base central del rostro robótico, debido a que ofrece principalmente las siguientes características:

- ✓ Resistencia a la tracción y ductibilidad baja.
- ✓ Buena maquinabilidad y resistencia al desgaste
- ✓ Material soldable
- ✓ De bajo costo en el mercado

La Figura 2.12, representa la distribución del peso de cada región sobre la base central del rostro robótico.

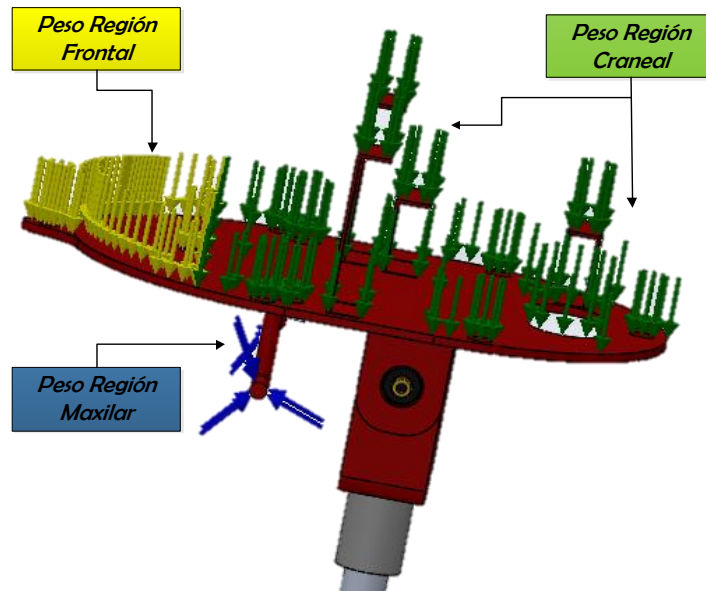


Figura 2.12 Fuerzas Actuantes sobre la Base Central del Rostro Robótico.

a. Cálculo de las Fuerzas Actuantes en la Base Central

Para efectos de cálculo se considerará a las regiones del rostro, como cargas puntuales y no como cargas distribuidas, esto es porque al momento de mover la cabeza hacia abajo y arriba se ejerce un mayor esfuerzo. La fórmula para determinar la fuerza a partir de un peso determinado, viene dada por:

$$F = m \cdot g \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde m es la masa del objeto expresada en kilogramos y g es la constante de gravedad correspondiente a 9.81m/s^2 . De manera que las fuerzas resultantes serán:

$$F_f = 1.22\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2 = 11.968\text{N}$$

$$F_m = 0.247\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2 = 2.42\text{N}$$

$$F_c = 0.42\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2 = 4.12\text{N}$$

b. Comprobación de la Estructura Mediante el Software SolidWorks

Para comprobar si el material resiste, se analiza la estructura por medio de estudio estático en el programa SolidWorks, en donde aparte de esbozar diseño completo del elemento, se insertan también las fuerzas que actúan en la base central del rostro robótico para obtener el gráfico de tensiones, deslizamiento estático y el estudio del factor de seguridad necesario para reconocer posibles fallos y determinar si el diseño es apropiado.

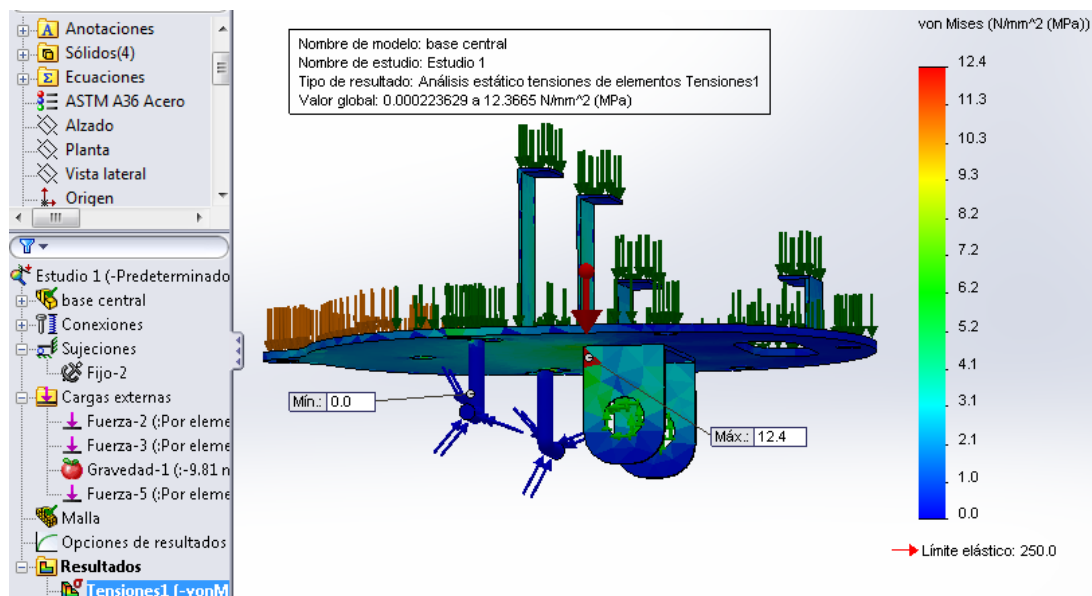


Figura 2.13 Gráfico de la Tensión de Von Mises en la Base Central.

Según el gráfico mostrado en la figura 2.13, la pieza puede fallar al ejercer un esfuerzo de 12.4 MPa en la zona que se enrojece en la figura. Este valor de esfuerzo no se considera alarmante ya que no interviene una fuerza cortante o axial en el funcionamiento del robot.

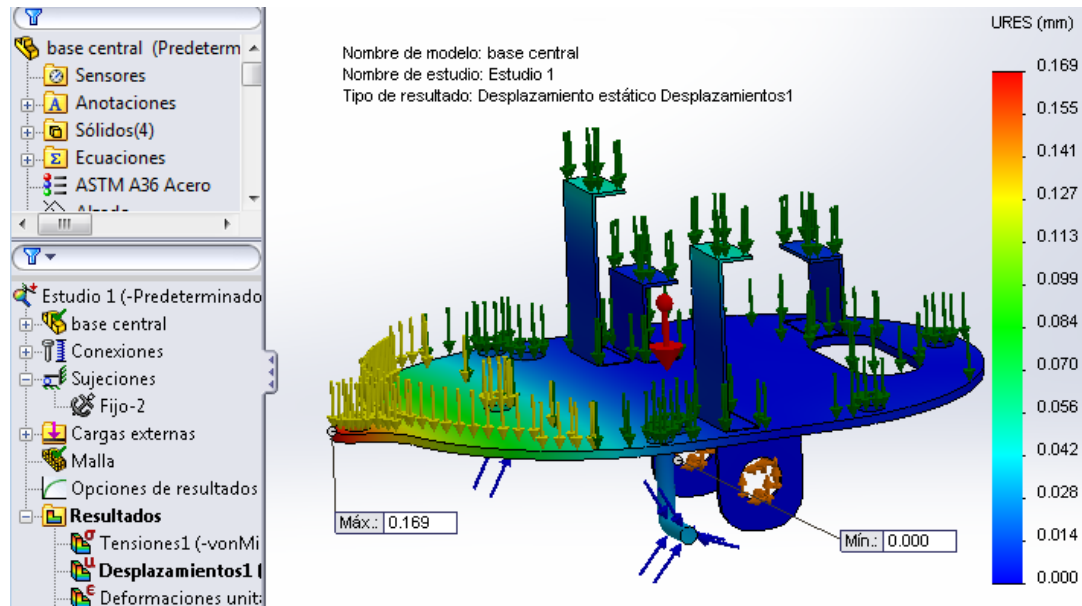


Figura 2.14 Gráfico del Desplazamiento Estático en la Base Central.

La figura 2.14 describe la deformación ejercida por las fuerzas. Donde la parte mayormente afectada se marca de rojo, y es de 0.169 mm, resultado que es despreciable, porque la sección estará fija por ser atornillada la región frontal a la base.

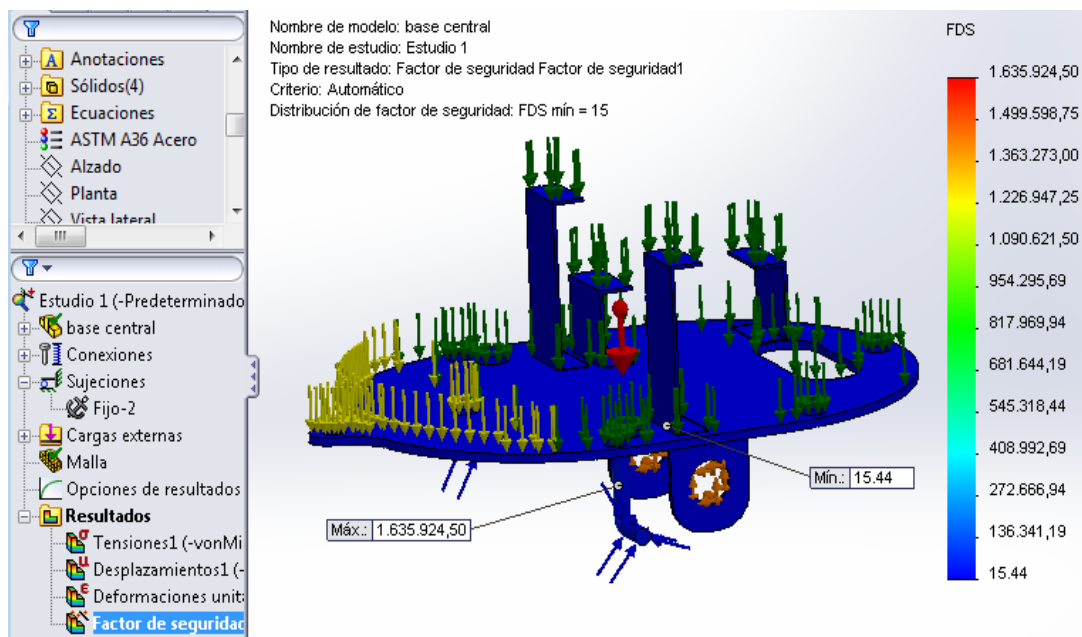


Figura 2.15 Gráfico del Factor de Seguridad en la Base Central.

El mínimo factor de seguridad que presento el Acero ASTM A36 en relación a la pieza llega a un valor de 15.4, superior al valor requerido, y que prácticamente comprende el conjunto de la pieza, (mostrado en la figura 2.15), por lo que se considera aceptable al material seleccionado.

2.5.2 Análisis Estructural del Eje Principal

El eje vertical que se muestra en la figura 2.16, está encargado de transmitir el movimiento rotacional hacia derecha e izquierda del rostro robótico, mide **141.5mm** de longitud y tiene un diámetro superior de **19mm** y un diámetro inferior de **12.7mm**. Se acopla con la base central del rostro robótico mediante un agujero roscado en la parte superior, mientras que en la parte inferior se encuentra un engrane plástico que sujeta el eje al servomotor del cuello.



Figura 2.16 Eje Principal del Rostro Robótico.

a. Cálculo del Esfuerzo Máximo para Selección del Material del Eje Principal

En el eje principal del robot se requiere del valor del esfuerzo máximo para escoger un material eficaz, y que permita obtener un factor de seguridad óptimo. Para lo cual es necesario encontrar el momento generado por las fuerzas actuantes sobre la base central del rostro robótico. Para el caso, el momento viene dado por la ecuación:

$$M = F \cdot l \quad \text{Ec. 2.2}$$

Siendo que M es el momento resultante [N], F corresponde a la fuerza ejercida sobre las secciones específicas de la base central y l es la distancia medida desde el centro hasta el lugar en donde ejerce dicha fuerza, para determinar cada distancia se recurre al plano de la base central, mostrado en la figura 2.17.

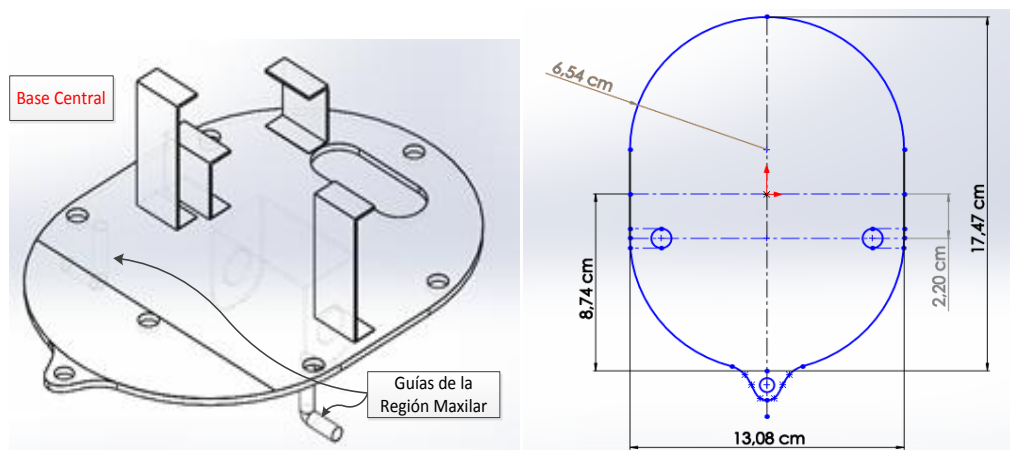


Figura 2.17 Descripción y Medidas de la Base Central del Rostro Robótico.

Es necesario mencionar que las dimensiones que indica la figura 2.17 no pueden ser alteradas, ya que constituyen un parámetro de la estética del rostro robótico, y que al ser modificadas podrían afectar la apariencia externa del robot. Por lo que las distancias requeridas son las siguientes:

- Longitud hasta el extremo de la región frontal:
 $l_f = 8.74cm = 0.0874m$
- Longitud hasta el soporte de la región maxilar: $l_m = 2.2cm = 0.022m$
- Longitud hasta el extremo de la región craneal: $l_c = l_f = 0.0874m$

De manera que los momentos resultantes serán los siguientes:

$$M_f = F_f \cdot l_f = 11.968N \cdot 0.0874m = 1.05N \cdot m$$

$$M_c = F_c \cdot l_c = 2.42N \cdot 0.0874m = 0.212N \cdot m$$

$$M_m = F_m \cdot l_m = 4.12N \cdot 0.022m = 0.09N \cdot m$$

El momento resultante será la sumatoria de momentos en el centro de la sección, teniendo en cuenta el sentido en el que cada uno actúa.

$$\begin{aligned}\sum M &= M_f - M_c + M_m \\ \sum M &= 1.05N \cdot m - 0.217N \cdot m + 0.09N \cdot m = 0.923N \cdot m\end{aligned}$$

El cálculo del esfuerzo flexionante requiere la aplicación de la fórmula de flexión determinada por la ecuación 2.3.

$$\sigma_b = \frac{M \cdot c}{I} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde c es el radio del eje expresado en metros y siendo 0.019 m el valor del diámetro del eje, entonces el valor de c corresponde a 0.0095m, según las medidas establecida anteriormente. I corresponde al momento de inercia del mismo eje.

El momento de Inercia se calcula bajo la siguiente fórmula

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Por lo que, reemplazando valores se tiene:

$$I = \frac{\pi \cdot (0.019m)^4}{64} = 6.39 \times 10^{-9} m^4$$

Siendo el esfuerzo flexionante igual a:

$$\sigma_b = \frac{(0.923Nm) \cdot (0.0095m)}{6.39 \times 10^{-9} m^4} = 1.372 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = 1.372MPa$$

Por otro lado el esfuerzo de compresión directo en el eje es dado por la ecuación 2.5.

$$\sigma_c = \frac{-F}{A} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde F es la fuerza ejercida sobre el elemento, y A el área de la parte superior del eje, que es en donde se despliegan todas las fuerzas, dicha área por ser circular se calcula utilizando la ecuación 2.6, que determina que:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde D es el diámetro de superior del eje, por lo que se obtiene un área igual a:

$$A = \frac{\pi \cdot (0.019m)^2}{4} = 2.835 \times 10^4 m^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo de compresión directo, corresponde a:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{F}{A} = \frac{(11.968 + 4.12 - 2.423)N}{2.835 \times 10^4 m^2} \\ \sigma_c &= \frac{13.665N}{2.835 \times 10^4 m^2} = 0.048MPa \end{aligned}$$

El esfuerzo total que se genera es la suma del esfuerzo flexionante que se produce por la compresión y el esfuerzo de tensión producido por esta misma flexión.

$$\sigma_T = \sigma_b + \sigma_c = 1.372MPa + 0.048MPa = 1.42MPa$$

Por otro lado, en el extremo inferior del eje se encontrará un Servomotor Power HD-9001MG (posteriormente analizado), que permitirá mover la cabeza del robot hacia derecha e izquierda, produciendo un esfuerzo cortante torsional reactivo en la parte superior del eje. El esfuerzo cortante torsional (Mott, 2006), se obtiene al aplicar la fórmula:

$$\tau = \frac{t_p}{Z_p} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde t_p es el par de torsión que genera el motor y Z_p es el módulo de sección polar, que para el caso es igual a:

$$Z_p = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Reemplazando con el valor del diámetro del eje obtenemos que:

$$Z_p = \frac{\pi \cdot (0.019m)^3}{16} = 1.346 \times 10^{-6} m^3$$

El par de torsión viene dado por el fabricante y es de 9.8 kg.cm, que multiplicado por la gravedad en el caso, resulta 0.961 N m. Entonces el esfuerzo torsional será:

$$\tau = \frac{t_p}{Z_p} = \frac{0.961N \cdot m}{1.346 \times 10^{-6} m^3} = 0.714 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = 0.714 MPa$$

Sin embargo el valor del esfuerzo máximo que agrupa el esfuerzo flexionante y cortante así como el esfuerzo cortante por torsión (Mott, 2006) viene dado por:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_T^2}{2^2} + \frac{t_p^2}{Z_p^2}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

En donde reemplazando los valores se obtiene que:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_T^2}{4} + \frac{t_p^2}{Z_p^2}} = \sqrt{\frac{(1.42)^2}{4} + \frac{(0.961)^2}{(1.346 \times 10^{-6})^2}} MPa$$

$$\tau_{\max} = 0.714 MPa$$

Finalmente se determina el material encontrando una aproximación al resultado que supere la resistencia a la cedencia del material a la tensión (Mott, 2006), que se toma de la fórmula:

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2N} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde S_y es la resistencia a la cedencia de la tensión, ya que es el doble de S_{ys} que es la resistencia a la cedencia del material sometida a cortante. N es el Factor de

Seguridad que para el caso es proporcional a 2 según el anexo A-4 (Mott, 2006). Finalmente obtendremos un valor de:

$$S_y = 2(\tau_{\max} \cdot N) = 2(0.714\text{MPa} \cdot 2) = 2.856\text{MPa}$$

Este valor es muy bajo, lo que quiere decir que no se romperá con facilidad, para lo que el material con menor resistencia a la cedencia es el Aluminio Aleado 1060-O según el Anexo A-1. Pero por ser costoso y de escasa existencia en el mercado, se opta por seleccionar el **Aluminio Aleado 6061-O** que posee una resistencia a la fluencia de 55MPa, valor superior al requerido, obsérvese el Anexo A-1 tomado del libro de Diseño de Materiales, (Mott, 2006).

b. Comprobación de Selección de Material Mediante el Software SolidWorks

Para efectos de comprobación, se recurre al software para generar el estudio estructural, obteniendo los siguientes resultados.

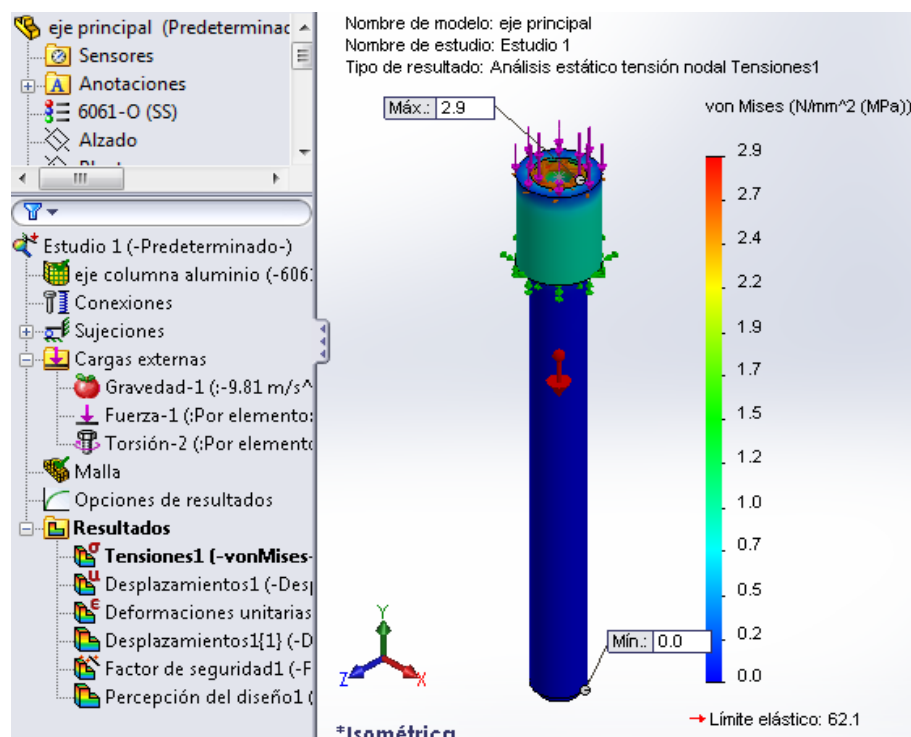


Figura 2.18 Gráfico de la Tensión de Von Mises en el Eje.

La zona de color rojo que la figura 2.18 señala, representa al lugar donde se encuentra el esfuerzo más crítico, y más propenso a fallar que es al superar los 2.9MPa.

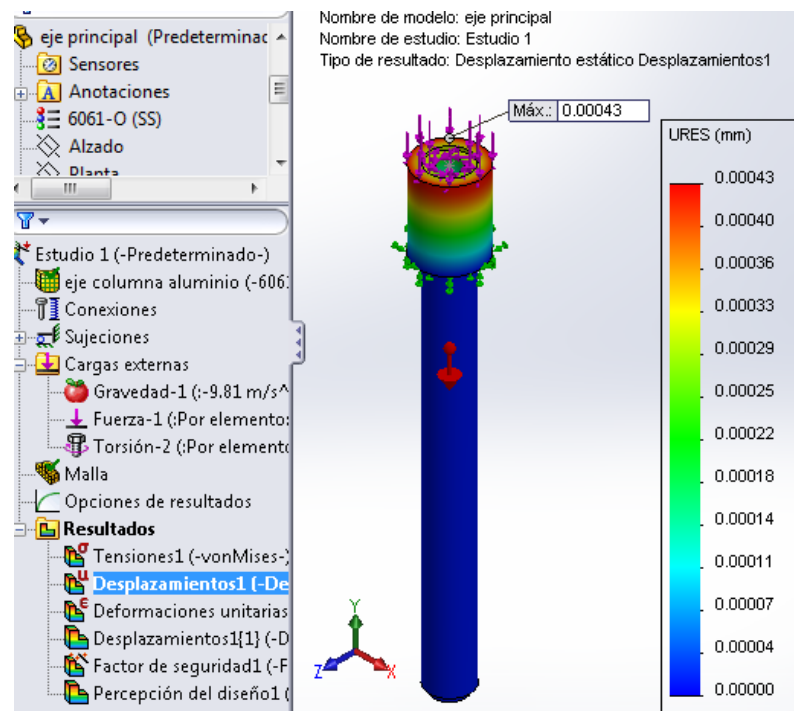


Figura 2.19 Gráfico del Desplazamiento Estático en el Eje.

En la figura 2.19, se muestra la deformación ejercida por la carga aplicada a esta pieza. Donde la parte probablemente afectada se señala con el color rojo, en el lugar indicado el desplazamiento máximo será de 0.00043mm, que es despreciable.

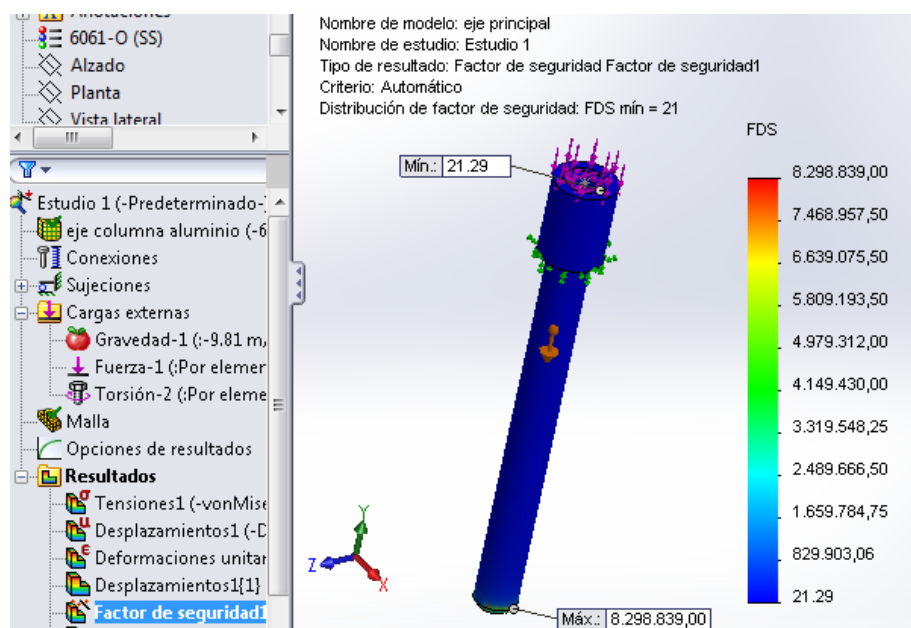


Figura 2.20 Gráfico del Factor de Seguridad Generado en el Eje.

El factor mínimo de seguridad está indicado por la zona roja de la figura 2.20, y es de 21 lo que demuestra que el material no fallará ya que se necesita al menos un factor de seguridad de 2 para considerar estable, por lo tanto, el material está correctamente designado.

2.5.3 Análisis y Selección de la Chumacera y el Rodamiento

Aunque existe una variada gama de soportes con rodamiento, es necesaria la selección de un soporte particular que presente principalmente una distribución equilibrada en cuanto al peso de dicho soporte, y un dimensionamiento paralelo. Debido a que un desbalance en el soporte del eje, significaría un leve pandeo ante el movimiento del rostro robótico, de manera que el escogimiento se reduce a una “chumacera” como se le conoce al soporte de rodamiento que consta de una brida de cuatro agujeros. Por lo cual la chumacera seleccionada es la NBR UCF 201. (mostrado en el Anexo A-6).

Para seleccionar el rodamiento, se requiere la carga radial y la carga axial aplicada sobre el eje, en función de obtener la capacidad de carga estática [C_o] y la carga dinámica [C], las cuales deberá soportar el rodamiento a seleccionarse.

Según los datos anteriormente obtenidos, se tiene que:

$$F_a = 11.968N + 2.42N + 4.12N = 18.508N$$

$$F_r = \frac{0.96N \cdot m}{0.0095m} = 101.053N$$

Según el libro de Diseño de Máquinas, (Norton, 1999) cap.10, pág.683, se menciona que: “...Por lo general, para fracturar a un rodamiento, es necesaria una carga igual a $8C_o$ o superior”. La menor carga estática [C_o] de un rodamiento insertable es de 6600N (véase el Anexo A-7), que significaría que la carga axial mínima para producir una falla en el rodamiento debería superar los 528.kN, y la fuerza producida por el rostro robótico es menor a 20N; por lo que se puede determinar que no se producirá ningún tipo de falla estática ante la selección de cualquier rodamiento insertable.

Por otro lado, según la publicación de la Universidad Carlos III, (2005), señala: “...Una regla empírica general indica que sobre los rodamientos de rodillos se deben imponer cargas correspondientes a $0.002C$ y sobre los de bolas, cargas correspondientes a $0.01C$ ”. Lo que significaría que, para los rodamientos insertables de bolas, la carga mínima debe ser superior a 128 N, para producir una falla de tipo dinámico debido a que equivale a $0.01C$, donde la carga dinámica mínima C de un rodamiento insertable es de 12800N según el anexo A-7. Particular que no ocurre sobre el eje del rostro robótico, por lo que no se considera una deformación de tipo dinámico en la selección del rodamiento insertable.

Entonces, debido a que la magnitud de carga no influye en la selección del rodamiento que se utilizará en el rostro robótico, se escoge un rodamiento NBR insertable de 47mm de diámetro exterior, y cuyo diámetro interior es de 12.7mm designado como: UC 201-08, (véase el anexo A-7), uno de los más pequeños rodamientos insertable existentes en el mercado.

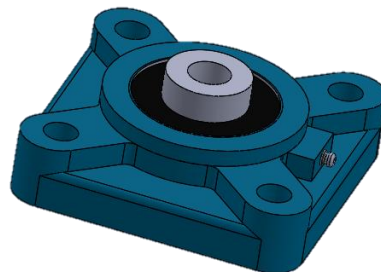


Figura 2.21 Chumacera con Rodamiento Insertable para el Rostro Robótico.

2.5.4 Análisis y Selección del Cuello Mecánico

El cuello mecánico es el elemento que sirve de transferencia de las cargas hacia el soporte inferior del rostro robótico. Es necesario que este aparato pueda soportar tanto la chumacera con la carga del rostro ejercida en el eje principal, y acoplarse al soporte inferior por medio de pernos distribuidos uniformemente.

El cuello es un elemento necesario, debido a que entre el soporte inferior y el rostro, existe esta perfecta reducción en el cuerpo humano, que permite orientar nuestra cabeza hacia derecha o izquierda.

El material seleccionado es el ángulo de Acero ASTM A-36 (véase Anexo A-4), debido a que principalmente guarda relación con los demás materiales y al ser soldable, permite acomodar a las dimensiones requeridas.

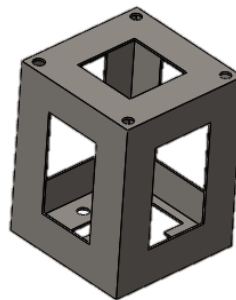


Figura 2.22 Cuello para el Rostro Robótico.

El cuello, por tratarse de un elemento de transferencia de cargas, no es imperioso proceder a su estudio estático, pues debido a su estructura y al material que lo compone, sobredimensiona cualquier cálculo precedente.

2.5.5 Análisis del Soporte Interior del Rostro Robótico

Para que el rostro robótico no se derribe a momento de moverse, es necesario que el soporte sea firme, es decir que el material y el dimensionamiento del mismo sea el adecuado para proporcionar estabilidad mecánica al conjunto. De ahí que el peso total del rostro robótico que es de 41.2N es transmitido por el cuello hasta la sección cuadrada de este soporte como se observa en la figura 2.23, donde se representa el lugar y la dirección de la fuerza mediante flechas moradas.

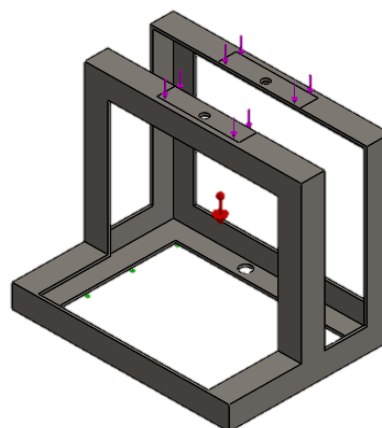


Figura 2.23 Fuerzas Actuantes en el Soporte Interior del Rostro Robótico.

a. Cálculo del Factor de Seguridad de la Estructura del Soporte Inferior

El material que conforma la estructura de este soporte es el Acero ASTM A36, encontrado en el perfil tipo L (o ángulo), cuyas propiedades se describen en el anexo A-4. Para determinar si el soporte brinda la firmeza y la estabilidad requerida, el factor de seguridad que brinde el estudio estructural debe ser mayor a 2 como valor. Para lo cual primeramente se requiere el cálculo del esfuerzo total que viene dado por la ecuación 2.11, extraída del libro de Diseño de Elementos de Máquinas, (Mott, 2006):

$$\sigma_d = \frac{M}{S} \quad \text{Ec. 2.11}$$

En el que σ_d representa el esfuerzo total definido en [MPa]; M es el momento flector máximo, y S es el módulo de la sección transversal que para el caso corresponde al ángulo utilizado en el soporte que viene dada por la ecuación 2.12 correspondiente a:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde b es el valor representado en la base del soporte interior correspondiente a 19.5 cm (0.195m), y h corresponde al valor de la altura del mismo elemento, que es de 2 mm (0.002m), es decir el valor del módulo de la sección transversal es de:

$$S = \frac{(0.195m) \cdot (0.002m)^2}{6} = \frac{7.8 \times 10^{-7} m^3}{6} = 1.3 \times 10^{-7} m^3$$

El momento flector máximo es calculado mediante el software MDSolid, que inicia por determinar el tipo de sujeción, así como la longitud de la sección a estudiar. Luego se definen el valor de la fuerza actuante W_1 , que representa el peso total calculado de 41.2N, pero debido a que son dos perfiles los que soportan dicha carga, en cada una actuará la mitad que es de 20.6N, distribuidos sobre 75mm lo que produce una fuerza distribuida definida por:

$$W_1 = \frac{20.6N}{7.5cm} \rightarrow \frac{20.6N}{0.075m} = 274.67 \frac{N}{m}$$

Este resultado se grafica en el diagrama mostrado en la figura 2.24.

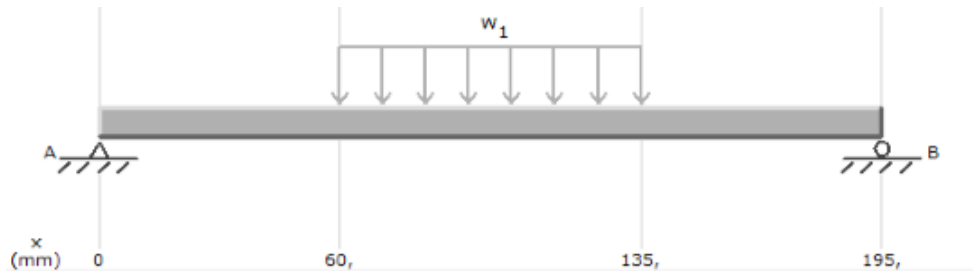


Figura 2.24 Diagrama de la Fuerza Distribuida sobre el Soporte Interior.

Produciendo el diagrama de esfuerzos de la figura 2.25.

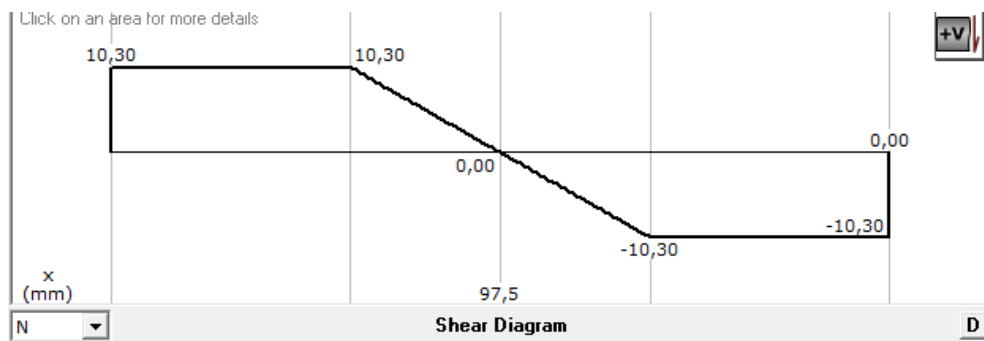


Figura 2.25 Diagrama de Esfuerzo Generado en el Soporte Interior.

De manera que el momento flector máximo se ubica justo en la mitad (97.5mm) del soporte interior, y que corresponde al valor de 811.13N.m, visto en la figura 2.26

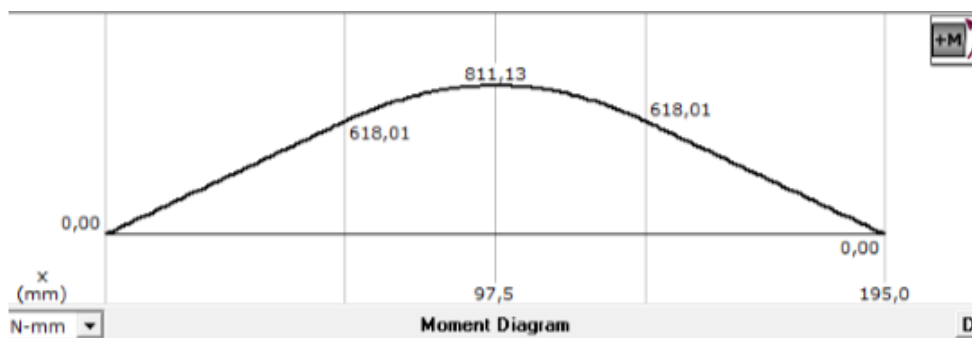


Figura 2.26 Diagrama del Momento Flector Generado en el Soporte Interior.

El valor del momento flector máximo se reemplaza en la ecuación 2.11, junto al valor de S ya obtenido, así:

$$\sigma_d = \frac{M}{S} = \frac{0.8111N \cdot m}{1.3 \times 10^{-7} m^3} = 6.24 \frac{N}{m^2} \Rightarrow 6.24 MPa$$

Finalmente se utiliza la ecuación 2.13, para con los datos calculados, obtener el valor adimensional del factor de seguridad, según el criterio del libro de Diseño de Elementos de Máquinas (Mott, 2006), que viene dado por:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \Rightarrow N = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad \text{Ec. 2.13}$$

El valor de la resistencia última S_y correspondiente al Acero ASTM A36 que es de 248MPa según el Anexo A-2 sobre las Propiedades de los Aceros Estructurales del libro de diseño de materiales, (Mott, 2006), obteniendo que:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} = \frac{248 MPa}{6.24 MPa} = 39.7$$

Lo que permite señalar que soporte interior se compondrá una estructura sumamente estable, ya que el valor obtenido es el factor de seguridad es muy superior a 2.

b. Comprobación de Selección de Material Mediante el Software SolidWorks

El factor de seguridad obtenido es comprobado en la figura 2.27 como sustento de esta teoría, que describe el estudio estático del soporte interior del rostro robótico.

El valor calculado es de 39.7 y en el gráfico del estudio estático del factor de seguridad es de 36.76, valores de mínima diferencia, debido a que en el cálculo no se consideran los dos agujeros sobre el soporte interior y el material soldable final.

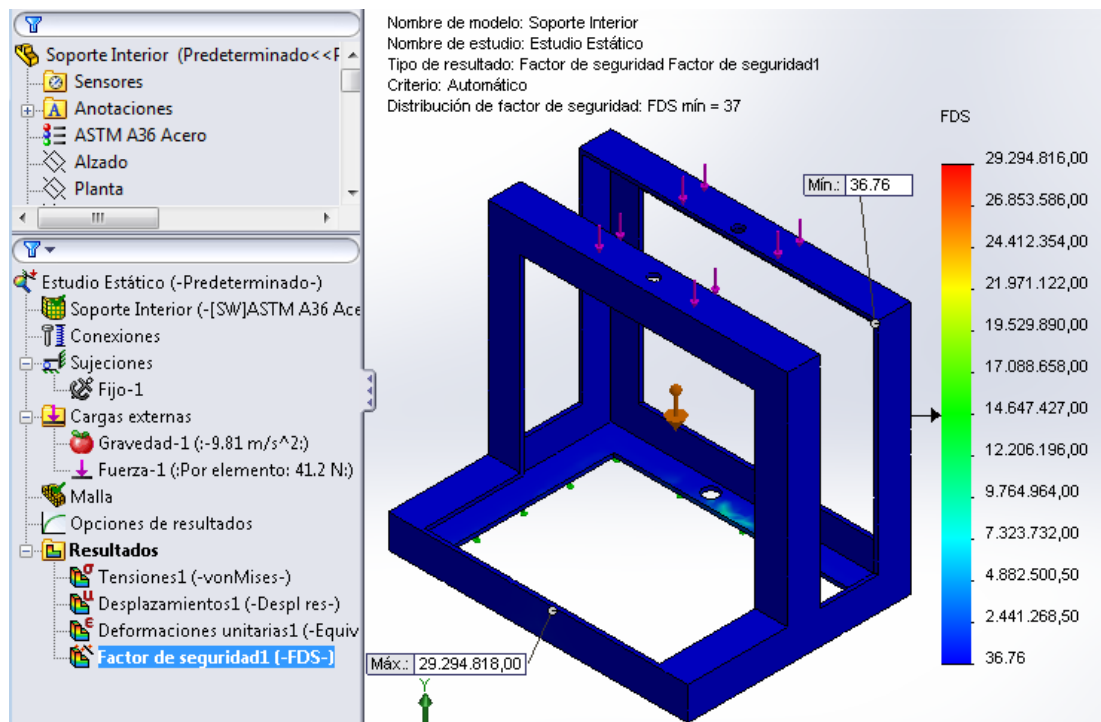


Figura 2.27 Gráfico del Factor de Seguridad en el Soporte Interior.

La figura 2.28 describe el gráfico de la tensión de Von Mises y que identifica el lugar donde ocurre el esfuerzo crítico con color verde.

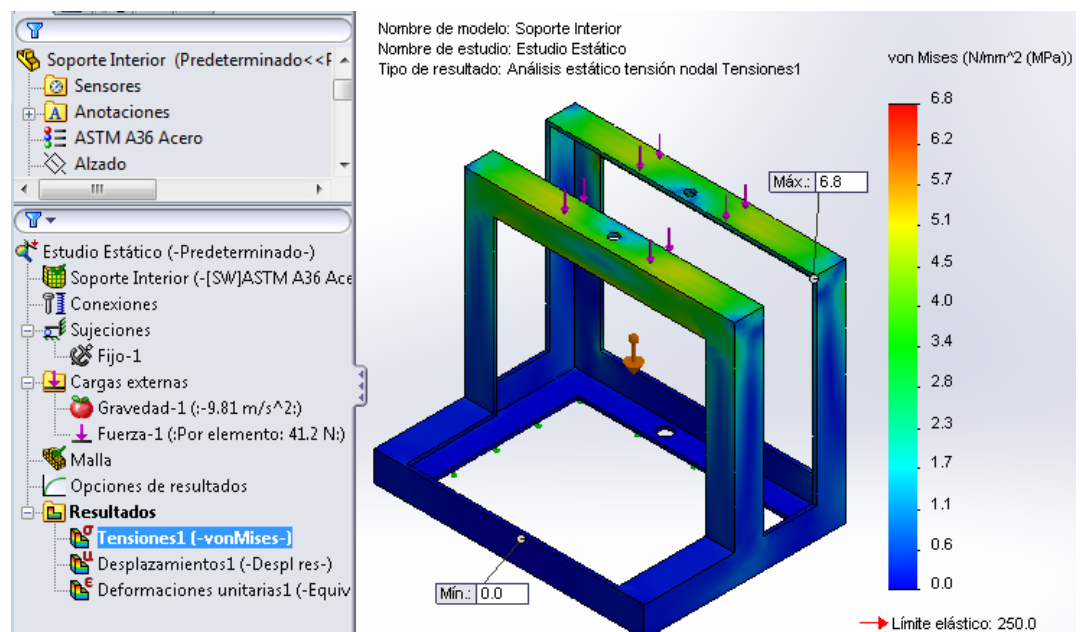


Figura 2.28 Gráfico de la Tensión de Von Mises en el Soporte Interior.

El análisis estático concluye con el estudio del desplazamiento ocurrido por el peso ejercido en el soporte interior como muestra la figura 2.29

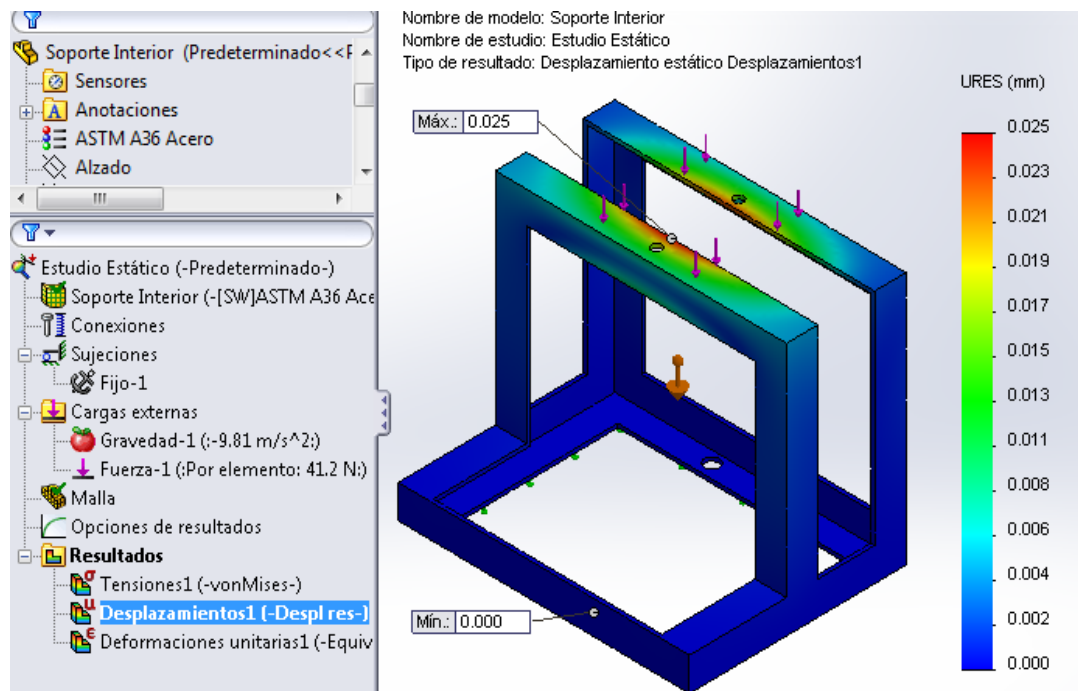


Figura 2.29 Gráfico del Desplazamiento Estático en el Soporte Interior.

Cuyo resultado es que el elemento en su zona más crítica se deformará 0.025mm, valor que no exige ningún cuidado por ser inapreciable.

2.6 Diseño Eléctrico y Electrónico

El rostro robótico, cumplirá con cuatro funciones esenciales que son:

- Movimiento
- Reconocimiento de Voz
- Reproducción de Voz
- Comunicación

2.6.1 Selección Elementos Electrónicos

Para cumplir con estas funciones se recurre a:

- a) Una tarjeta **Arduino** como controlador de todos los elementos electrónicos mediante las entradas y salidas digitales que posee esta placa.
- b) **Servomotores** que permitan la generación de movimiento.
- c) Un módulo de **Reconocimiento de voz** encargado de captar señales sonoras.
- d) Un módulo de **Decodificación de audio** junto a un circuito amplificador y parlante que reproduzcan sonidos pregrabados dotándole al robot la capacidad del habla.
- e) Un módulo **Bluetooth** para establecer una comunicación inalámbrica que permita controlar externamente el rostro robótico.

a. Selección de la Tarjeta Controladora Arduino




La tarjeta Arduino como elemento de control de los elementos electrónicos, permitiría que cada elemento sea accionado en el momento preciso y hacia una operación puntual, por lo cual la tarjeta arduino como software y hardware ofrece las facilidades de determinar la ejecución de dichos elementos a través de la programación de un sketch suscrito de tipo Open Source-Hardware, utilizando el bus serial como puertos bidireccionales de comunicación, y a las salidas digitales/PWM como medios de ejecución unidireccional.

Entre las distintas tarjetas arduino, se selecciona la Arduino Mega 2560 R3, debido a que posee primeramente tres canales de comunicación tipo serial TTL, que permitirá la comunicación con el módulo bluetooth y el módulo de reconocimiento de voz. Además de 11 salidas tipo PWM, requeridas para el control de los 8 servomotores, y finalmente la velocidad de respuesta proporcionada por el chip Atmega 2560.

b. Selección del Servomotor

Dentro del rostro robótico se utilizan los servomotores de corriente continua. Los servomotores Power HD no producen una excesiva vibración (ruido), tanto al girar como al permanecer en estado estático, a diferencia que los servomotores usuales. Dentro de la gama de servomotores Power HD se destacan los siguientes:

Tabla 2.3 Lista de Servomotores Power-HD.

Nombre	Figura del Servomotor	Torque a 6v	Velocidad a 6v	Dimensiones	Peso	Tipo de Engranaje
Power HD-1900PG		0.147 N.m 1.5 kg.cm	0.08 seg/60°	23.0 mm 12.2 mm 29.0 mm	9.0 g	Plástico
Power HD-3001HB		0.431 N.m 4.4 kg.cm	0.12 seg/60°	41.9 mm 20.6 mm 39.6 mm	43.0 g	Plástico
Power HD-6001HB		0.657 N.m 6.7 kg.cm	0.14 seg/60°	41.9 mm 20.6 mm 39.6 mm	43.0 g	Plástico
Power HD-9001MG		0.96 N.m 9.8 kg.cm	0.14 seg/60°	41.9 mm 20.6 mm 41.9 mm	56.0 g	Metálico

Fuente: (Servo Database, 2012)

Para seleccionar los servomotores se utilizó un cálculo aproximado, basado en el peso de cada sección móvil y la distancia (radio) en la que la fuerza actúa, dado por la ecuación 2.14.

$$T = F \cdot d \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde T es el valor del torque calculado en unidades Newton por metro [N.m], ya que F es la fuerza [N] y d la distancia expresada en metros [m].

De acuerdo a las medidas y el promedio del peso a mover de cada región específica, se selecciona el servomotor necesario, Teniendo en cuenta el torque y las dimensiones de cada servomotor. Esta selección se describe en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Elección de Servomotores del Rostro Robótico.

Parte / Órgano	Movimiento	Torque Requerido $T = F(N) \times d(m)$	Servomotor Seleccionado
Ojos	Derecha - Izquierda	$T = 4.2 \times 0.02 = 0.08 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Ojos	Arriba - Abajo	$T = 8.2 \times 0.05 = 0.41 \text{ N.m}$	Power HD-3001HB
Párpados	Arriba - Abajo	$T = 5.7 \times 0.03 = 0.17 \text{ N.m}$	Power HD-3001HB
Ceño Izquierdo	Relajar - Fruncir	$T = 2.94 \times 0.04 = 0.11 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Ceño Derecho	Relajar - Fruncir	$T = 2.94 \times 0.04 = 0.11 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Mandíbula	Apertura - Cierre	$T = 11.8 \times 0.05 = 0.6 \text{ N.m}$	Power HD-6001HB
Cabeza	Arriba - Abajo	$T = 10.27 \times 0.09 = 0.92 \text{ N.m}$	Power HD-9001MG
Cabeza	Derecha - Izquierda	$T = 12.4 \times 0.06 = 0.75 \text{ N.m}$	Power HD-9001MG

La disposición de cada servomotor en particular, deberá limitar la rotación que cada servomotor ejerza, teniendo en cuenta la semejanza que debe existir a los movimientos de los músculos y órganos de un ser humano común. Los ángulos de posición inicial (Home), y los límites a los cuales la rotación angular puede alcanzar, son definidos en la tabla 2.5 mostrada a continuación.

Tabla 2.5 Límites del Movimiento Angular de los Servomotores

Ubicación del Servomotor	Función en el Rostro	Extremo Inferior	Posición "Home"	Extremo Superior	Ángulo de Movimiento
Ojos	Para mirar en perspectiva horizontal	10 °	27 °	45 °	35 °
Ojos	Para mirar en perspectiva vertical	40 °	70 °	88 °	48 °
Párpados	"Cerrar y Abrir extremadamente los ojos"	30 °	40 °	90 °	60 °
Ceño Izquierdo	Permiten expresar sorpresa o enfado	4 °	14 °	23 °	19 °
Ceño Derecho	Permiten expresar sorpresa o enfado	1 °	10 °	20 °	19 °
Mandíbula	Abrir la boca	74 °	80 °	n/a	4 °
Cabeza	Su movimiento se utiliza para admitir	130 °	165 °	180 °	50 °
Cabeza	Su movimiento se utiliza para negar	1 °	90 °	180 °	179 °

c. Selección de Módulo de Reconocimiento de Voz

Para seleccionar el módulo de reconocimiento de voz, se toma en cuenta la capacidad de almacenamiento de registros de audio, su compatibilidad ante el control bajo la tarjeta Arduino y el consumo de energía requerido. Por lo que se utiliza el Módulo de Reconocimiento de Voz V.2, mismo que cumple registra previamente hasta 15 diferentes señales auditivas, dividido en tres grupos, los cuales pueden recoger caracteres auditivos de hasta 1300 milisegundos por vez. Se programa y se ejecuta por medio de comandos AT a través del puerto serial de una tarjeta Arduino y consume menos de 40 miliamperios a una tensión de 5 voltios.

d. Selección del Módulo de Audio

El módulo WTV 020 SD Mini, es el elemento electrónico seleccionado para cumplir con la función de decodificar los archivos de audio de una tarjeta de memoria tipo Micro SD, que además debe ser utilizado junto a un circuito amplificador para el control del volumen junto a un par de parlantes como salida de audio del módulo especificado.

El módulo WTV 020 SD Mini cumple con las siguientes características:

- Permite ser controlado por una tarjeta arduino por medio de un pulso de reloj CLK, para su funcionamiento regular y la selección de archivos de audio mediante pulsos digitales entre niveles lógicos, bajo la programación del sketch del arduino.
- Requiere de una alimentación baja (3.3 voltios), para lo cual se recurre a un regulador LM1117.
- Soporta tarjetas de memoria tipo Micro SD de hasta 2 Gigabytes (de marca SanDisk necesariamente), en donde se almacenarán archivos de audio en extensión AD4.

Por otro lado, para la final reproducción de los archivos de audio, se utiliza parlantes estéreo SP-U115 de 50mm, que define una salida total de 1.5 watts RMS junto a su propio circuito amplificador comercializado como un producto de marca Genius.



Figura 2.30 Parlantes Estéreo USB SP-U115.

Fuente: (Genius, 2014).

e. Selección del Módulo Bluetooth

Un requerimiento para controlar el rostro robótico, es la comunicación con la tarjeta Arduino mediante una vía inalámbrica, esto es posible mediante la tecnología bluetooth que es una especificación industrial para redes de área personal en la banda de los 2,4 GHz.

Para lo cual se recurre a un módulo bluetooth HC-07 que descifra las señales de un dispositivo sincronizado y las envía por medio del puerto serial a una velocidad que puede ser configurada (generalmente a 9600 Baudios), asintiendo a la tarjeta Arduino como si se tratase de un elemento receptor de señales inalámbricas vía bluetooth.

Otras ventajas que presenta el módulo para el rostro robótico es su configuración mediante comandos AT, los cuales soporta tanto la programación como la ejecución del Arduino, además de estar energizado a una tensión de 3.3 voltios.

2.6.2 Esquemático de Interacción del Sistema Electrónico.

El conjunto de elementos electrónicos implementan sincronía para su correcto funcionamiento, donde por una parte son alimentados individualmente y con diferentes consumo de energía cada uno, y por otro lado, son dependientes del control bajo programación de la tarjeta Arduino.

Misma programación que será seleccionada exteriormente mediante comandos específicos enviados vía bluetooth. La figura 2.31, explica el esquema de provisión de energía y enlace entre los elementos electrónicos que conforman el rostro robótico, así como el modo de comunicación entre los mismos.

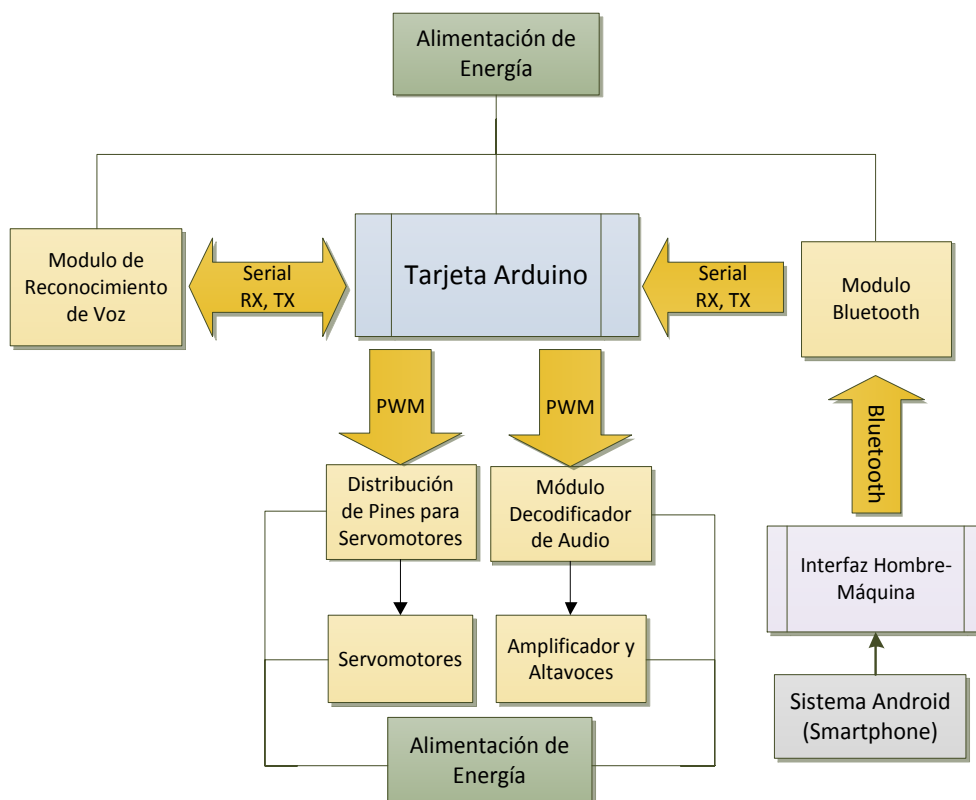


Figura 2.31 Interacción Entre los Elementos Electrónicos del Rostro Robótico.

2.6.3 Selección y Distribución de Energía del Sistema Electrónico.

Al conocer que tanto el consumo de corriente como la tensión de alimentación de cada elemento electrónico, se recurre a utilizar tres diferentes de fuentes de voltaje alimentadas por corriente alterna, que si bien requiere de una toma de corriente para que funcionen, evitan por otro lado la descarga que podría ocurrir si se usaran baterías.

El diseño de distribución eléctrica se presenta en la figura 2.32 a continuación.

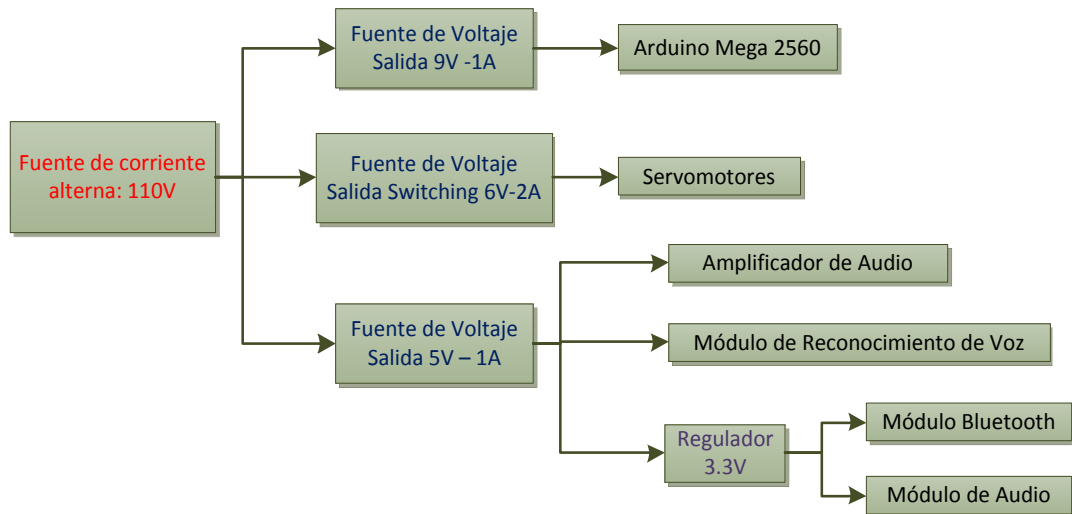


Figura 2.32 Esquema de Distribución Eléctrico para el Rostro Robótico.

Se selecciona tres diferentes fuentes que una proveen de energía (corriente continua) independiente, La primera fuente alimenta a los elementos de entrada y salida hasta 5 voltios, donde cada uno de los cuatro elementos requiere menos de 40 mA para funcionar. Una segunda fuente de alimentación específica para la tarjeta arduino que consume 9 voltios a 1 Amperio, y una última fuente de alimentación tipo switching de 6 voltios a 2 Amperios, que se requiere para utilizar los 8 servomotores a la vez, sin tener una caída de voltaje significativa.

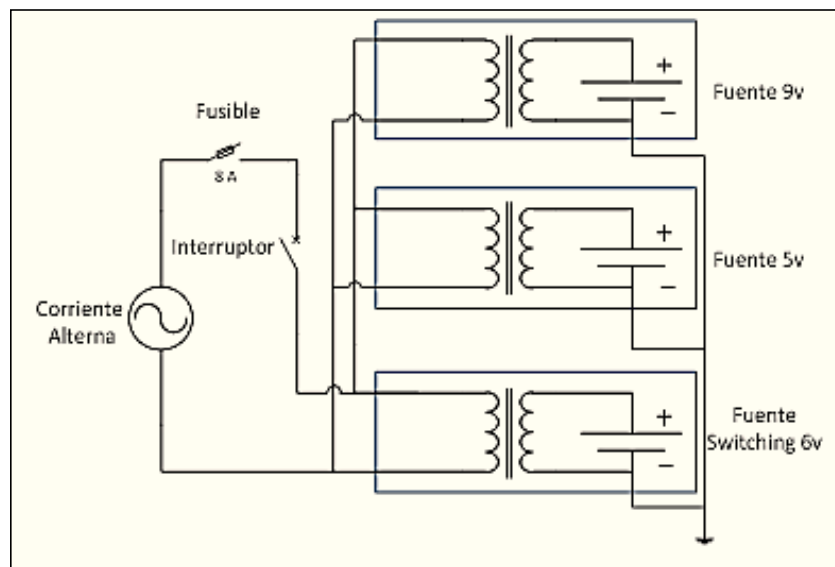


Figura 2.33 Diagrama Eléctrico del Rostro Robótico

El diseño eléctrico mostrado en la figura 2.33, define la conexión de las fuentes de alimentación, además del uso de un fusible de 8 Amperios como elemento de protección a sobre corrientes, y un interruptor de encendido para el sistema.

2.6.4 Diagrama de Conexiones del Sistema Electrónico.

Una vez reconocidos los elementos constituyentes y la determinación de los mismos ante el comportamiento e interacción entre sí, se dispone un diagrama de conexión como parte del diseño electrónico, mostrado en el Anexo B-1, en donde se determina el cableado tanto para la alimentación, conexión común a tierra y funcionamiento de cada elemento. El esquemático que define las conexiones de los elementos electrónicos se encuentra en el Anexo B-2 del presente escrito.

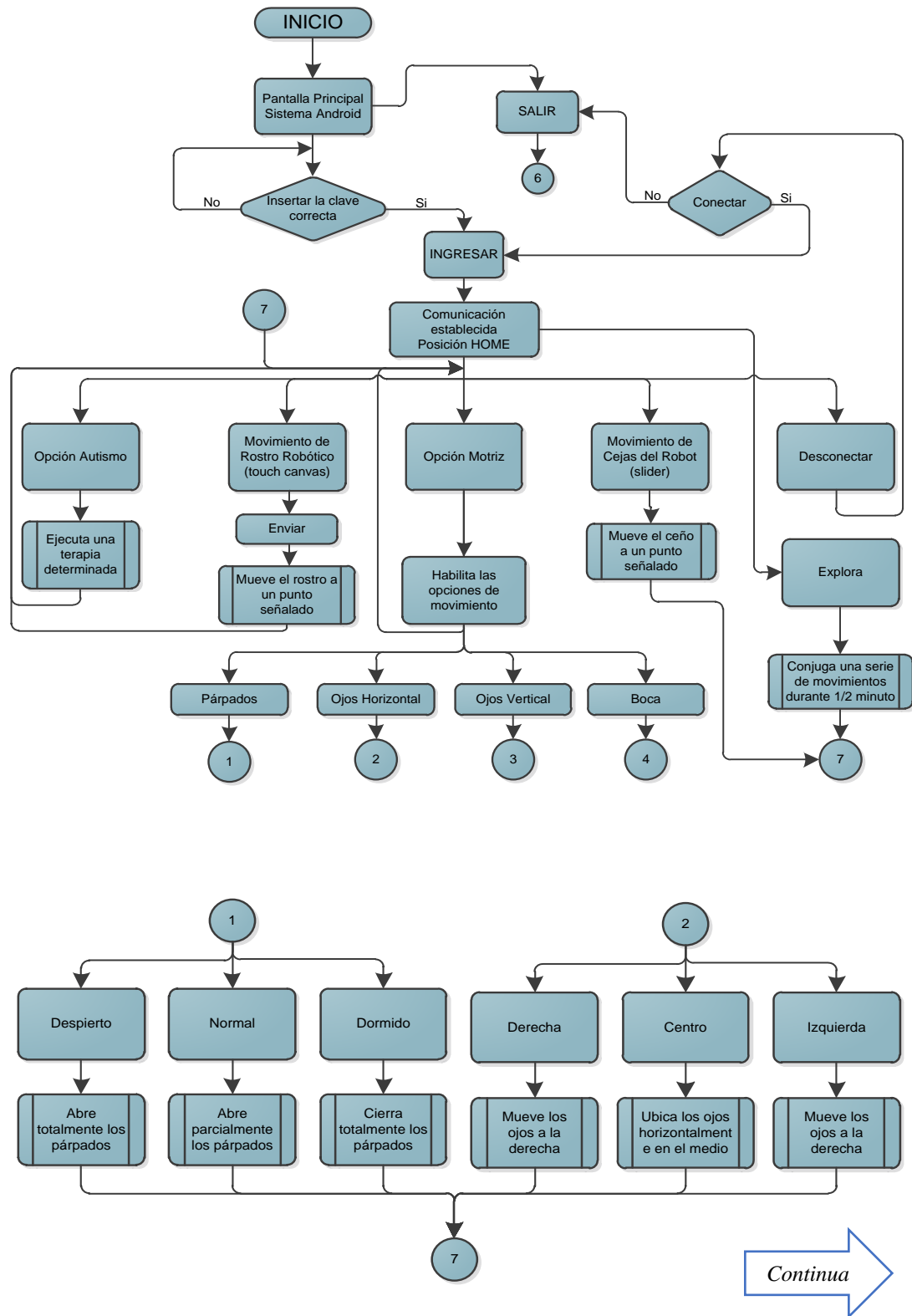
2.7 Diseño del Sistema de Control

Constituye la esencia intangible del robot, Puesto que el sistema de control compone el conjunto de información que permite al rostro adquirir las señales digitales externas, procesarlas y devolver otra señal digital para cierta acción característica, ya sea esta de movimiento o de reproducción de audio.

El sistema de control no solo contempla la programación de la tarjeta arduino como “cerebro” del rostro robótico, también define el desarrollo de la aplicación para smartphone con sus características esenciales, así como la configuración de los diferentes módulos que componen el rostro robótico.

2.7.1 Diagrama de Flujo para el Control del Rostro Robótico

Antes de definir la programación se recurre a un esquema que define el comportamiento del rostro robótico, en tal virtud la figura 2.24 muestra el diagrama de funcionamiento del mismo.



Continúa

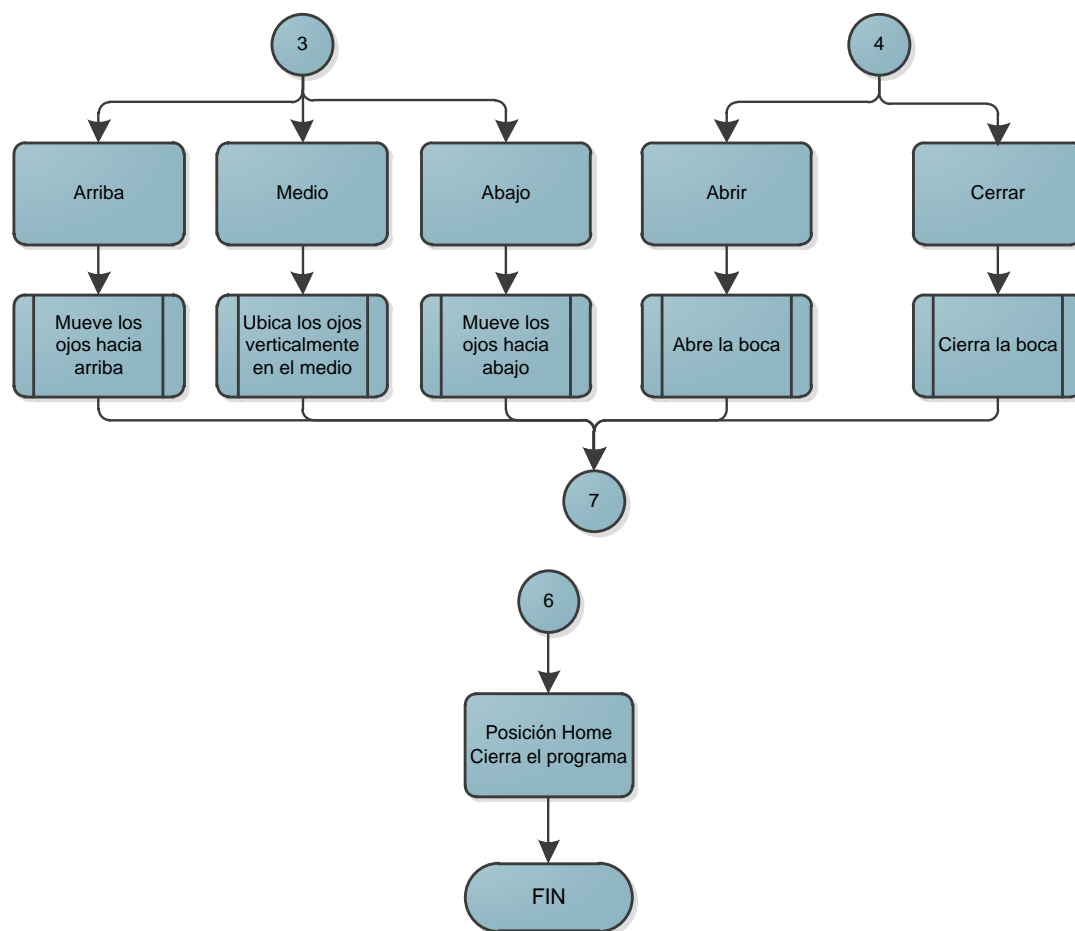


Figura 2.34 Diagrama de Flujo para el Control del Rostro Robótico.

Para dotar al robot de ejecución de una respuesta, primeramente se toma en cuenta las vías por las cuales existirán señales de entrada, siendo la voz una de las dos entradas, por lo que es necesario configurar las voces que el robot reconocerá, de manera que cuando esto pase envíe un comando o registro a la tarjeta arduino para proceder a una acción determinada. Para lo cual se acudirá a los comandos AT, que no son otra cosa que el medio por el cual permitirá grabar los comandos en el chip del módulo de reconocimiento de voz como un patrón a ser identificado.

La segunda señal de entrada a recibir, es la señal dirigida desde el Smartphone a través del uso de una aplicación hasta la tarjeta arduino a través del módulo bluetooth, para lo cual se requiere configurar el módulo bluetooth mediante el uso de comandos AT. Y por otro lado, se realiza la aplicación para la plataforma operativa Android mediante el software online APP INVENTOR, que básicamente serán señales

alfabéticas de cuatro caracteres que serán interpretadas en la ejecución del sketch grabado en la tarjeta arduino.

Una vez reconocidas las entradas, se elabora el sketch en software de Arduino (IDE), en donde se registra uno a uno cada pin de entrada y salida y posteriormente se programa bajo el lenguaje C las rutinas y subrutinas que cumplirá el robot.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN

Una vez diseñado y analizado completamente robot, se tiene la certeza de acudir a la construcción de los elementos mecánicos, así como a su ensamblaje junto a los elementos electrónicos y a realizar el control previsto.

3.1 Construcción Mecánica

El soporte y el aspecto del robot están constituido por las piezas mecánicas, que cumplen con un funcionamiento específico. Estos elementos componen tanto la estructura interior como la estructura exterior del robot; y se construyen de manera separada hasta ensamblarse en un solo conjunto, estructurado de la siguiente manera:

3.1.1 Composición Estructural

La estructura externa está encargada de moldear las características faciales y del torso, además de ser la base en donde descansa la piel sintética del robot; está constituida por fibra de vidrio elaborada sobre moldes de medidas regulares, y que han sido modificados conforme a las prestaciones que se requiere para insertar cada elemento que compone el rostro robótico.

Los mencionados moldes se obtuvieron de un cráneo real, para que las medidas coincidan con las del rostro de una persona normal como muestra la figura 3.1.



Figura 3.1 Fabricación de Moldes Faciales para el Robot K-Lu-K.

Una vez con los moldes totalmente duros y consistentes se procede a elaborar la fibra de vidrio del rostro. Teniendo como resultado una base firme, consistente de bajo peso y de un espesor totalmente delgado. Las figura 3.2, muestra las principales piezas de fibra de vidrio, que constituye la cara del robot luego de haber recortado y lijado las secciones en donde se situarán los ojos y el ceño, así como la forma del maxilar inferior.

Siendo que es un material fibroso, cualquier adecuación puede realizarse ya sea que el material se encuentre compacto o no. Esta ventaja permite asegurar completamente los elementos exteriores que se añadan al rostro robótico, y modificar las demás secciones conforme al resultado requerido.



Figura 3.2 Cabeza de Fibra de Vidrio del Rostro Robótico.

El torso también está compuesto por fibra de vidrio, el cual fue modificado de un maniquí para que tenga una base plana, además de una abertura en la parte posterior que servirá como puerta para el ingreso e inspección de los componentes del robot. Posterior al lijado de este material, se pinta para conservar una mejor presentación y acabado.

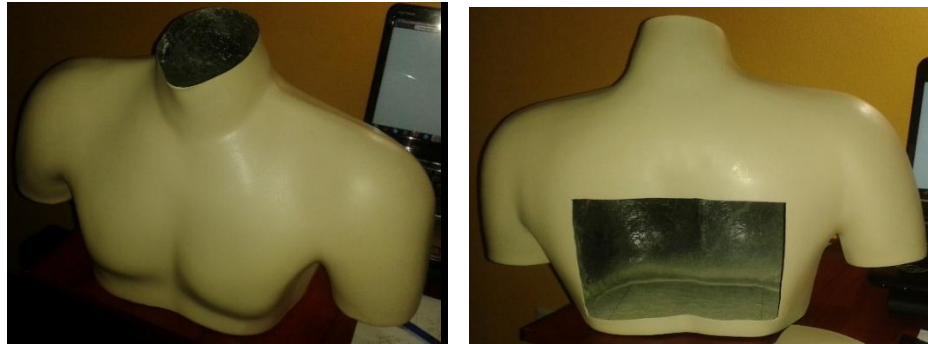


Figura 3.3 Torso de Fibra de Vidrio del Robot K-Lu-K.

Una vez obtenidos los elementos estructurales, se añade el sistema de ojos y el maxilar inferior de Ivorina a la estructura de fibra de vidrio, tanto a la región frontal como a la región maxilar respectivamente, de manera que se constituya cada una de las piezas como un aparato compacto. Véase las figuras 3.5 y 3.5.



Figura 3.4 Inserción de Sistema de Ojos en el Cráneo del Robot.

Además de sujetar estos elementos utilizando tornillos de cabeza plana, también se recurre a resinas y fibra de vidrio, para rellenar los sitios periféricos del sistema de los ojos y de la dentadura.



Figura 3.5 Inserción de la Dentadura en el Maxilar Inferior del Robot.

3.1.2 Construcción y Ensamblaje Mecánico

El eje principal es mecanizado en un torno a la medida especificada, a partir de un eje de Aluminio 6061-O, el cual una vez cilindrado y refrentado, se perfora el centro inferior para introducir un engranaje interno, y en el centro superior para luego realizar un roscado utilizando un macho de roscar. Estas operaciones se ilustran en la figura 3.6.



Figura 3.6 Mecanizado del Eje Principal del Robot.

El ángulo es cortado a las medidas específicas de los planos de diseño, tanto del soporte inferior como del cuello mecánico y soldado conservando la perpendicularidad necesaria. Posteriormente se perforan los agujeros descritos, de manera que se pueda conformar el ensamblaje junto a la chumacera, como muestra la figura 3.7 a continuación.



Figura 3.7 Construcción del Soporte Interior y Cuello Mecánico del Robot.

Tanto el acople como la base central del robot son fabricados acorde a los diseño especificado en los planos del robot, en donde el material que conforma estos elementos es el Acero ASTM A-36.



Figura 3.8 Construcción del Acople de Acero y de la Base Central del Robot.

Como medida preventiva y estética, luego de pulir a todos los elementos de acero, se recubre con pintura anticorrosiva y un esmalte de color rojo, como acción de protección de estas partes ante el fenómeno de oxidación que se produce en este material.



Figura 3.9 Protección de los Elementos de Acero Mediante Pinturas.

Posterior a la elaboración de los elementos mecánicos, junto a los materiales realizados en fibra de vidrio, se procede a ensamblar estas piezas en un solo conjunto, de manera que se pueda inspeccionar el resultado obtenido previo al ensamblaje de los componentes electrónicos, de manera que se pueda relacionar al bosquejo del diseño previo como se ilustra en la figura 3.10.



Figura 3.10 Ensamblaje de Comprobación de los Elementos Mecánicos.

3.2 Implementación de Sensores y Actuadores.

Una vez terminado el ensamble mecánico, se procede a implementar los componentes electrónicos, siguiendo el diseño previamente definido. Para lo cual es preciso elaborar dos circuitos, tanto para los servomotores como para la alimentación de los elementos de 3.3 y 5 voltios. Por lo que se recurre al software Ares de Proteus, donde se diseña el circuito impreso que posteriormente es estampado sobre una placa de baquelita.

Cuando se extrae el cobre excedente de la baquelita dejando la pista tal y como fue diseñada, se procede a perforar los lugares en donde se especifica cada diseño, de manera que los elementos como pines, zócalos, entre otros; puedan ser insertados para soldarse en el lugar al que correspondan, como muestran las figuras 3.11 y 3.12.

El circuito de módulo de audio servirá para tres funciones: la primera es multiplicar a tres las entradas de 5 voltios provista desde la fuente, la segunda función es regular el voltaje hasta 3.3 voltios con el uso de un regulador de voltaje y a la vez

disponer tres salidas de esta tensión, y por último distribuir el voltaje de 3.3 para la alimentación del módulo de audio así como la distribución de los pines del mismo.

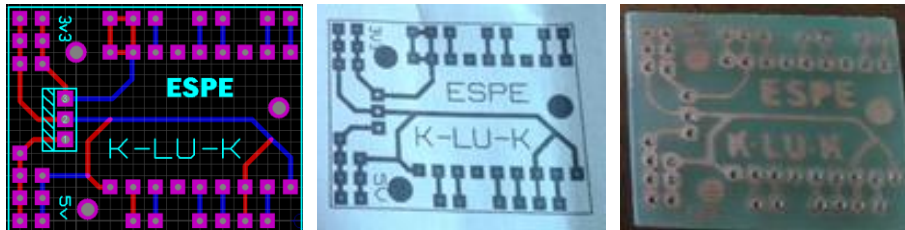


Figura 3.11 Elaboración del Circuito Multipropósito.

El circuito de distribución de pines para los servomotores (mostrado en la figura 3.12), permite la alimentación independiente de 6 voltios a todos los servomotores, así como la distribución de pines para la posterior conexión individual de los servos. Cuenta con una salida extra para comprobar la comunicación de forma visible con el uso de una resistencia de 220 ohmios y una luz led de color rojo.

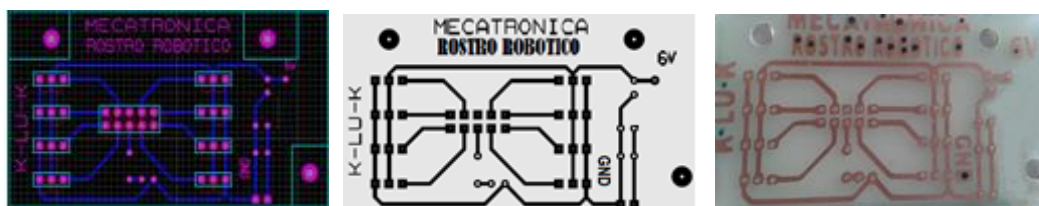


Figura 3.12 Elaboración del Circuito para Distribución de Servomotores.

3.3 Ensamblaje de componentes.

El ensamblaje de los componentes inicia una vez que se tengan los elementos requeridos, en ese caso, se procede primero a ubicar el servo del acople tipo C en el cuello del robot y los micro servos, uno junto al soporte de los ojos del rostro y los dos restantes en el orificio de la región frontal, para mover las cejas del robot. Cada uno de estos servomotores se sujetará con tornillos de 5 mm de diámetro además de un pegamento especial, que permita fijar el plástico al metal; con el fin de que se retenga fuertemente dichos servomotores.



Figura 3.13 Encajamiento del Servo del Cuello y de los Micro Servo.

Posteriormente se ubican el resto de servomotores en los lugares correspondientes, llevando sus cables de una manera ordenada a la placa de distribución de pines de cada uno de los servomotores, así como el cable de datos de 10 hilos y el par de cables requeridos para suministrar energía, teniendo en cuenta que al mover el cuello requerirá una mayor longitud de los cables ubicados en este sector del rostro robótico. Este ensamble se muestra en la figura 3.12.

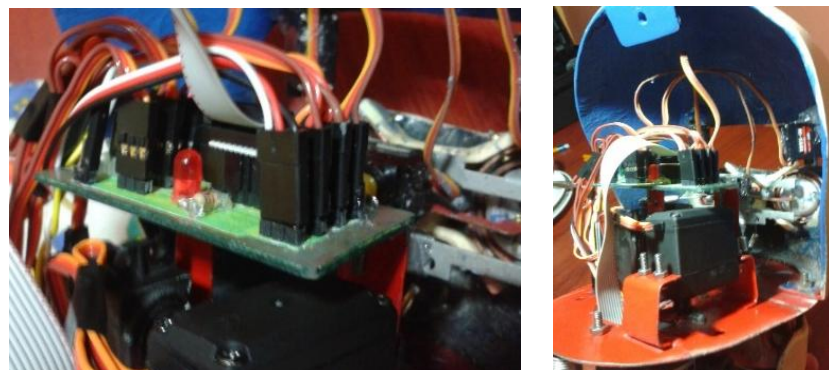


Figura 3.14 Conexión Sobre la Placa de Distribución de los Servomotores.

Los siguientes elementos electrónicos se sujetan sobre dos placas azules de melanina que se sujetarán al soporte inferior del rostro robótico, en la primera placa de melanina se sitúan las dos fuentes de voltaje, mientras que en la segunda se ubican la tarjeta arduino, el modulo de reconocimiento de voz y la placa que soporta el módulo de audio; sobre tales elementos se encuentran conectados uno a uno los cables de comunicación y alimentación correspondiente al diseño electrónico. Así se muestra en la figura 3.15.

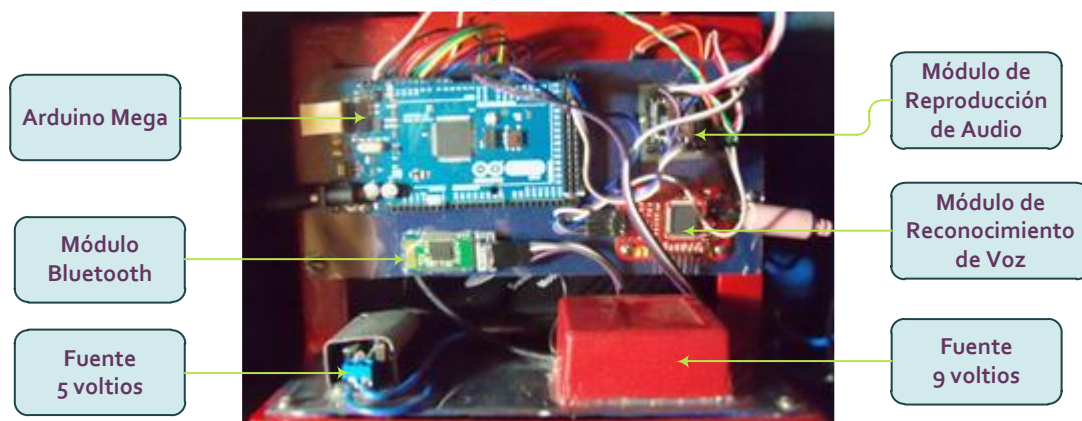


Figura 3.15 *Ensamble de los Elementos Electrónicos en el Soporte Inferior.*

Todos los elementos son introducidos dentro del torso de fibra de vidrio; en el mismo se atornillan tanto el circuito de amplificación de audio en el antebrazo izquierdo y el porta fusible en el antebrazo derecho, así como los dos parlantes que van ubicados en el pecho del rostro robótico, (véase la figura 3.16). Permitiendo ocultar interiormente el cableado necesario para que los elementos descritos funcionen correctamente.

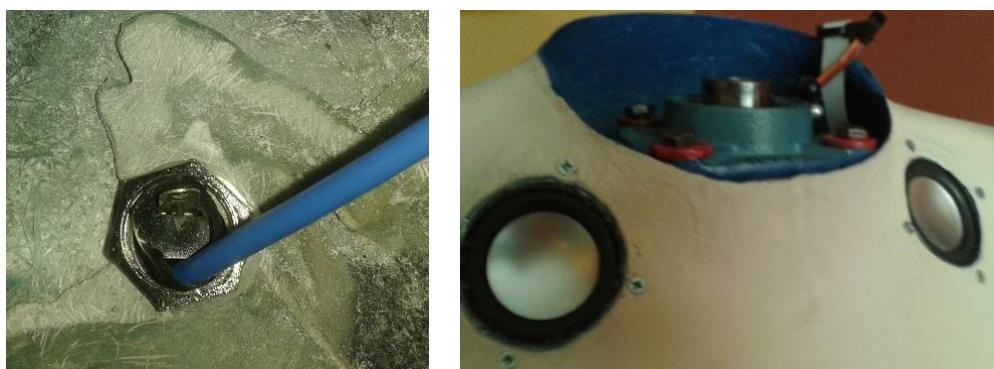


Figura 3.16 *Inserción de Porta Fusible y Parlantes dentro del Torso.*

Cuando los servomotores están fijos, se puede cubrir el cráneo con la tapa posterior, insertando tornillos pequeños en cada orificio sobrante de la base central del rostro robótico y el orificio de la región frontal, de manera que este elemento quede completamente fijo.

Finalmente se introduce el eje principal dentro de la chumacera hasta que se sobreponga al rodamiento, teniendo en cuenta que el engranaje interno, insertado al

final del eje, se haya incrustado en el eje dentado del servomotor inferior. Además por otro lado, se añaden las dos cejas a los microservos de la región frontal que permitirán fruncir y estirar el ceño del robot. Luego de estos procedimientos se tiene como resultado el ensamblaje final cuyas imágenes se exponen en la figura 3.17.

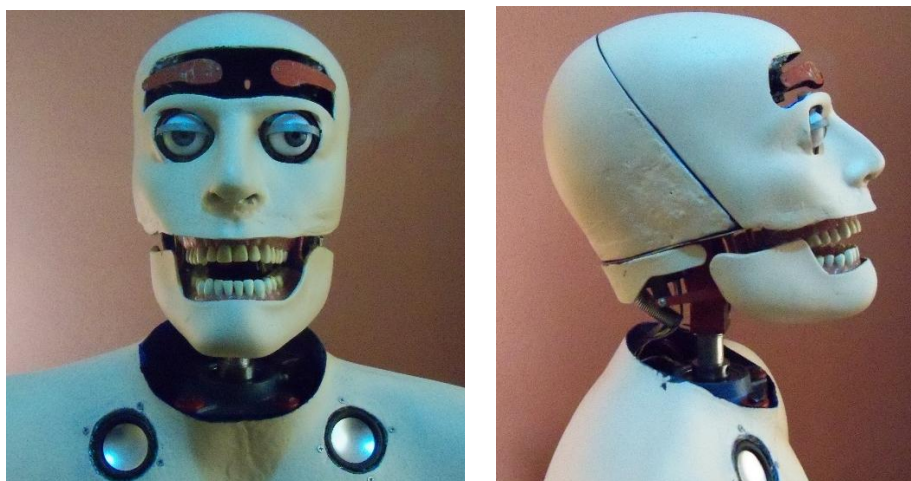


Figura 3.17 Agrupación Final de los Componentes Internos de Rostro Robótico.

3.4 Elaboración de la Máscara de Látex

Para la elaboración de la máscara de látex acorde al rostro robótico, se inicial elaborando un molde base de barro, que corresponda a la estructura del soporte de fibra de vidrio. En este molde se definen los detalles del rostro como son los labios, arrugas y demás detalles del rostro antes que el barro esté completamente seco.

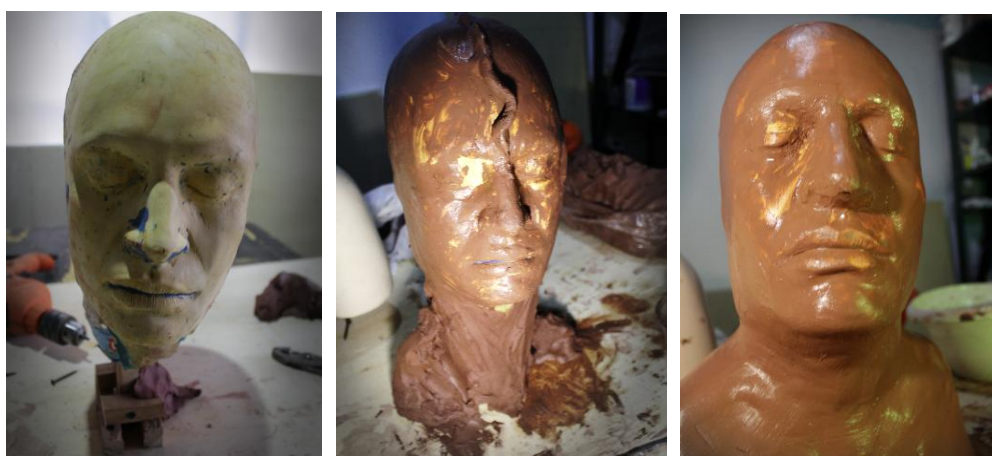


Figura 3.18 Elaboración de Moldes Base para la Máscara del Rostro Robótico.

Una vez que el barro esté completamente seco, se aplica una delgada capa de vaselina por todo el molde para luego cubrir por completo este molde con yeso amarillo, de manera que se tenga una capa de mínimo 2 centímetros de yeso cubriendo todo el molde.

Una vez que el yeso amarillo esté completamente seco, se realiza un corte diagonal en esta enorme piedra, para sacar el molde de barro inmerso, de manera que se tenga ahora un molde vaciado, compuesto por de yeso amarillo, que interiormente será liso y sin partes ásperas.

Las orejas al tener mayor detalle contemplan otro molde vaciado ya no en yeso sino en utilizando plastilina epóxica, que se seca dependiendo la cantidad de endurecedor que contenga, de manera que descompleque al modelo, pero que se puedan añadir posteriormente al latex. Estos moldes se muestran en la figura 3.19.



Figura 3.19 Elaboración de Moldes al Vacío para la Máscara del Rostro Robótico.



Figura 3.20 Moldes de las Orejas del Rostro Robótico.

Dentro del molde de yeso se vierte el látex líquido de color piel, y se procede a voltear varias veces este molde, de manera que cubra por completo el interior del mismo, sin dejar ningún lugar descubierto. Una vez esparcido el látex completamente se deja que el látex se solidifique por el lapso de 24 horas, luego de lo cual se despega fácilmente, obteniendo así la máscara de látex requerida para el animatrónico.



Figura 3.21 Máscara de Látex para el Rostro Robótico.

Para mejorar el aspecto exterior del rostro robótico, se añade una peluca así como además cejas, pestañas y otros detalles que permitan asemejarse a la apariencia de una persona de sexo masculino.

3.5 Desarrollo del Sistema de Control

El sistema de control rige los movimientos y acciones del rostro robótico, es decir, el alcance que tendrá el robot es determinado por la programación que se desarrolle. Es necesario recurrir a la programación y el desarrollo de una aplicación y a la programación de un sketch para la tarjeta Arduino, para el control del Robot K-Lu-K.

3.5.1 Desarrollo de la Aplicación para dispositivos Android

Para contar con un control en lazo abierto, se crea una aplicación para dispositivos móviles (Smartphone's o Tablet's), con el objetivo enviar datos a la tarjeta arduino, a través de la interfaz bluetooth. Para lo que se recurre al entorno virtual MIT App Inventor, mismo que permite de una manera gráfica desarrollar aplicaciones para

dispositivos Android. Para crear una aplicación se debe trabajar con dos herramientas que son el App Inventor Designer y el App Inventor Blocks Editor. En el primero se construye la interfaz de usuario eligiendo y ubicando uno a uno los elementos con el que el usuario seleccionará las diferentes acciones que puede realizar el robot K-Lu-K, y en el editor de bloques se define el comportamiento de cada uno de los componentes elegidos.

a. App Inventor Designer

Usando el internet se ingresa a la página <http://beta.appinventor.mit.edu/> la que despliega el App Inventor Designer, en el cual se empieza a desarrollar la aplicación, definiendo primeramente el número de pantallas (screen's) que tendrá la aplicación para el control del robot K-Lu-K.

Se definen dos pantallas: el primer screen mostrado en la figura 3.22, sirve para introducir una clave de seguridad o de acceso al robot, cuyo objetivo es restringir el acceso al control del rostro robótico.



Figura 3.22 Screen 1 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.

En el bloque de texto del screen 1, se ingresará la clave digitándola por medio del teclado, mismo que se despliega en la pantalla táctil del Smartphone una vez que se toca el bloque de texto. Una vez digitada la clave, se toca el botón del screen definido por la palabra “Ingresar”, si la clave digitada fue la misma que posteriormente se determinará en el editor de bloques, entonces se cambiará a el segundo screen, de lo contrario se desplegará un mensaje que señale “Clave Incorrecta”. Si el usuario desea salir debe pulsar el botón rojo del screen llamado “Salir”. Además esta pantalla contiene una imagen para recrear un ambiente amigable en la aplicación.

En un segundo screen (mostrado en la figura 3.23), se definen diferentes botones, que al ser pulsados por el operario del robot, el Smartphone enviará un dato a través del bluetooth relacionado a la descripción de cada botón, de manera que el robot pueda ser accionado al descifrar aquel dato específico.

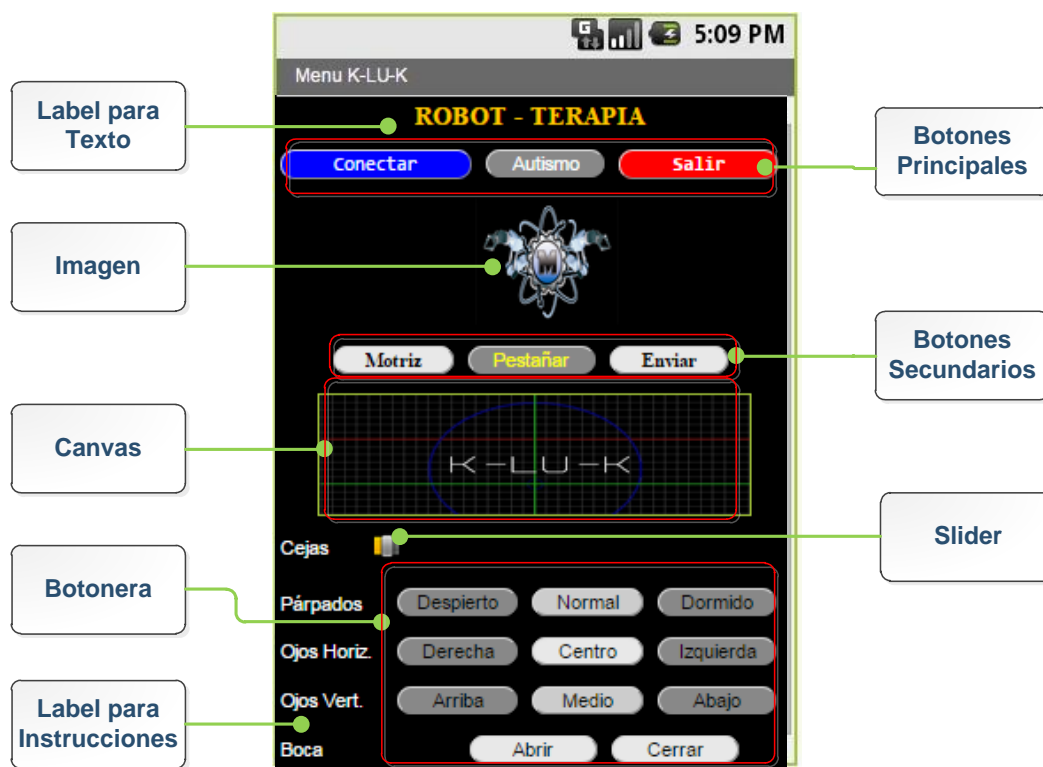


Figura 3.23 Screen 2 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.

El segundo screen consta también de una serie de botones (principales, secundarios y de instrucciones), a los que cada uno pertenecerá una ejecución distinta

del robot. Además un sector tipo lienzo (canvas), que gracias a la pantalla táctil del Smartphone puede obtener un lugar geométrico para cada punto del sector seleccionado y almacenar en dos variables tanto la posición vertical “Y”, como la posición horizontal “X”, que se requerirán para mover el rostro robótico cada vez que se pulse el botón “Enviar” dispuesto en la pantalla.

El screen 2 contiene además, un slider que sirve para enviar un dato de posición. Cuando la posición del slider se encuentre en el límite izquierdo las cejas fruncirán el ceño del robot, y al encontrarse al límite derecho las cejas estarán totalmente relajadas.

- El botón “Conectar” permite sincronizar el bluetooth del Smartphone con el módulo bluetooth HC-07 a través de la dirección estática que tiene cada módulo. Esta sincronización permitirá enviar y recibir los diferentes comandos que se seleccione en la aplicación, y mientras el módulo este sincronizado no se podrá salir de la aplicación ya que se bloqueará el botón “Salir” del screen 2.
- Al presionar el botón “Motriz”, se habilitará la botonera de instrucciones, misma que controla los diferentes órganos del rostro robótico como son los párpados, la boca y los ojos tanto vertical como horizontalmente.
- El botón “Explora” permite al robot deshabilitar la botonera de instrucciones, encerrar las variables por si ocurre un error no forzado, y parpadear como acción visible para el operario de que la instrucción fue ejecutada.
- El botón “Autismo” permite que el robot K-Lu-K ejecute una pequeña terapia que sirve como modelo para ser utilizado frente a las personas que padecen de este síndrome.

La aplicación puede ser guardada y exportada a cualquier dispositivo que utilice el desarrollador Android en sus diferentes versiones.

b. App Inventor Blocks Editor

Es una herramienta que permite una programación visual sencilla que consiste en unir bloques al estilo Lego, reemplazando a las líneas de código por bloques. Para cada screen se abre un editor diferente, donde se encuentran definidos los botones como bloques variables, a los cuales se añadirán bloque de instrucción, es decir al botón llamado “Botón 1” se le asignará un bloque de función como “enviar dato 1 vía bluetooth”, el que se situará dentro de un bloque tipo lazo repetitivo que señale “Cada vez que se toque el botón”, esto permitirá que el dato 1 sea enviado cuando se presione el botón 1.

Los bloques creados para la aplicación K-Lu-K, se muestran en el Anexo D-1 y D-2 del presente trabajo.

3.4.1 Desarrollo del Sketch para la Tarjeta Arduino

El sketch es desarrollado en el software gratuito IDE de Arduino, que bajo programación en lenguaje C permitirá configurar el control de los dispositivos existentes en el robot K-Lu-K. El sketch consta de tres fases: la primera es la fase de inicialización donde se declaran todas las librerías y los elementos a utilizarse en el programa, en la segunda fase se declara y configura las variables, esta fase se llama “Void Set Up”, y la tercera y última fase es el bucle de repetición o “Void Loop”, que contiene el procedimiento del programa y que se repite las veces que se indiquen en el mismo.

El esquema de la fase de inicialización se muestra en la figura 3.24. En el cual primeramente se definen las librerías ‘servo’ y ‘WTV020’, que incluyen al programa el conjunto de comandos que simplifican la programación para emplear servomotores y el módulo de audio respectivamente dentro de la ejecución del programa controlador. Posteriormente se definen cada uno de los elementos electrónicos con nombres que se puedan reconocer a lo largo de la ejecución del programa así como las variables que intervendrán al momento de adoptar un valor o un estado.

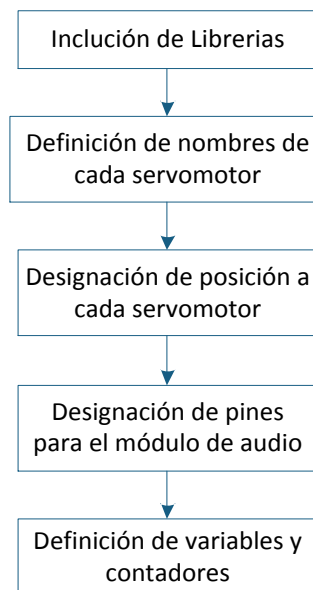


Figura 3.24 Inicialización del Sketch para la Tarjeta Arduino.

La segunda fase de la programación consiste en adjuntar cada uno de los nombres definidos anteriormente a las salidas numeradas con las que cuenta la tarjeta Arduino, de manera que se configure una salida para cada elemento, ya sea PWM como en el caso de los servomotores, Serial tanto para el módulo bluetooth como el módulo de reconocimiento de voz, o simplemente una salida digital como es el caso del módulo de audio. Además en el Void Set Up se configura la velocidad de comunicación entre las salidas seriales, que para el caso es de 9600 Baudios.

Por último se inicializa el grupo 1 módulo de voz a través del envío del comando AT: 0xAA; 0x21 que cambia a modo compacto el módulo de reconocimiento de voz, y el comando 0xAA; 0x21 que importa el primer grupo de audio a ser reconocido.

Así también la inicialización del módulo de audio, utilizando el llamado específico: `wtv020sd16p.reset()`, que es determinado por el uso de la librería propia antes descrita.

El esquema de esta fase se resume en la figura 3.25 mostrada a continuación.

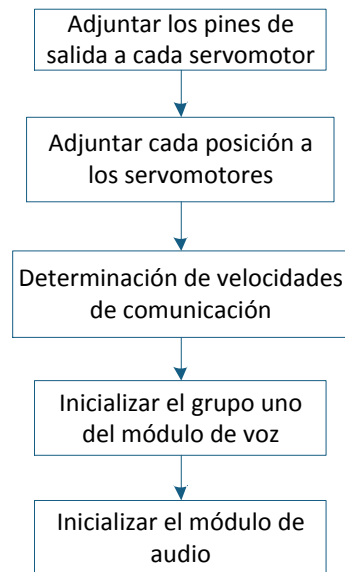


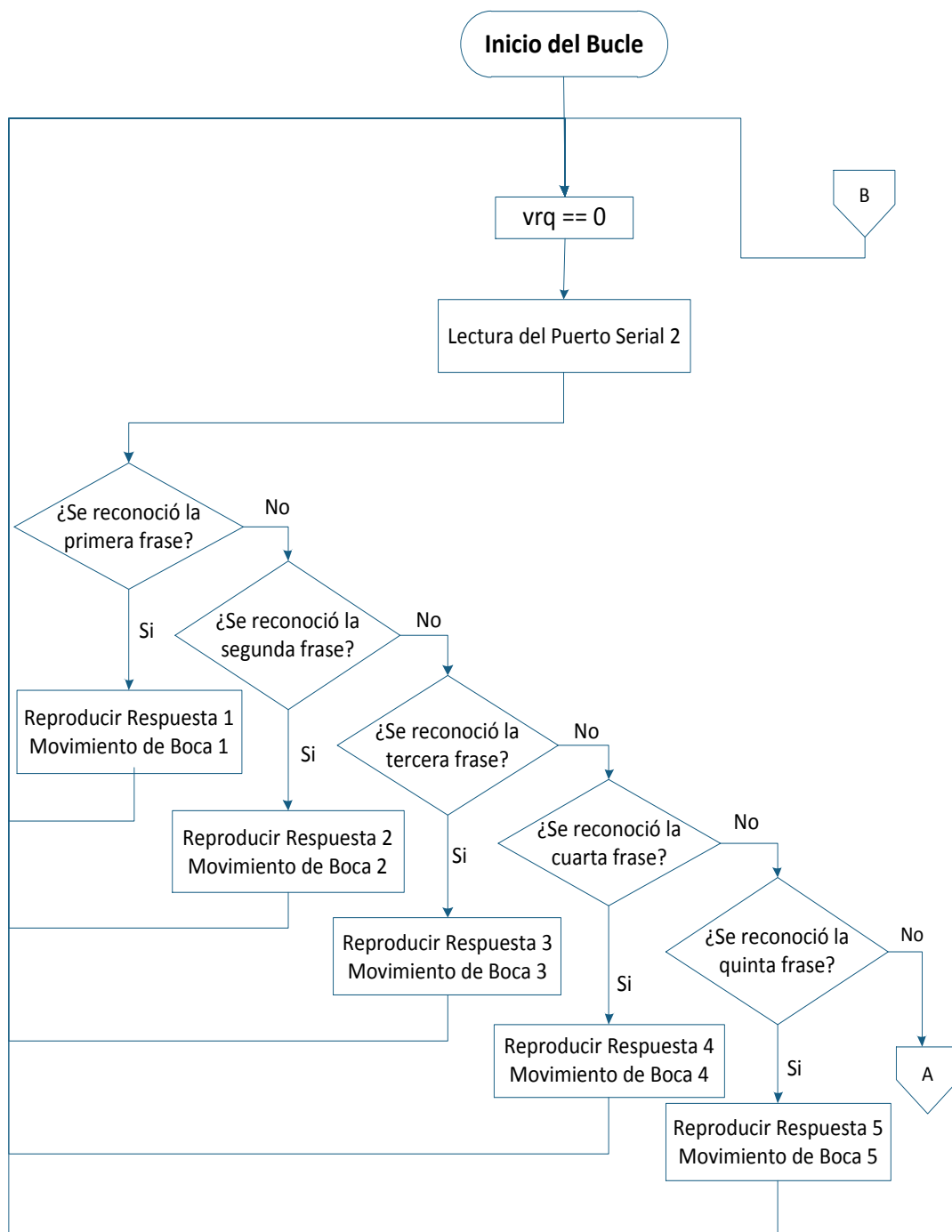
Figura 3.25 Void Set-up del Sketch para la Tarjeta Arduino.

El bucle de repetición constituye el conjunto de especificaciones del programa de control del robot K-Lu-K, que se encarga de repetirse una y otra vez mientras la tarjeta arduino esté encendida. El mismo que se encarga de recoger primeramente el dato recibido vía serial (sea del módulo de reconocimiento de voz o bluetooth), y descifrarlo para responder al mismo con una reacción, ya sea el movimiento de un o unos servomotores o la reproducción de un archivo de audio junto al movimiento de otro u otros servomotores.

Dependiendo del puerto serial en el que se encuentre alguna información; esta información es almacenada ya sea en la variable 'vrq', si se trata de un espectro de voz, o en la variable 'dato', si se trata de un conjunto de caracteres.

Esta variable se compara frente a una información previamente definida, y de ser semejante se provoca una respuesta, luego de la cual se encera nuevamente la variable y se repite el proceso.

Este procedimiento se esquematiza en la figura 3.26.



Continúa

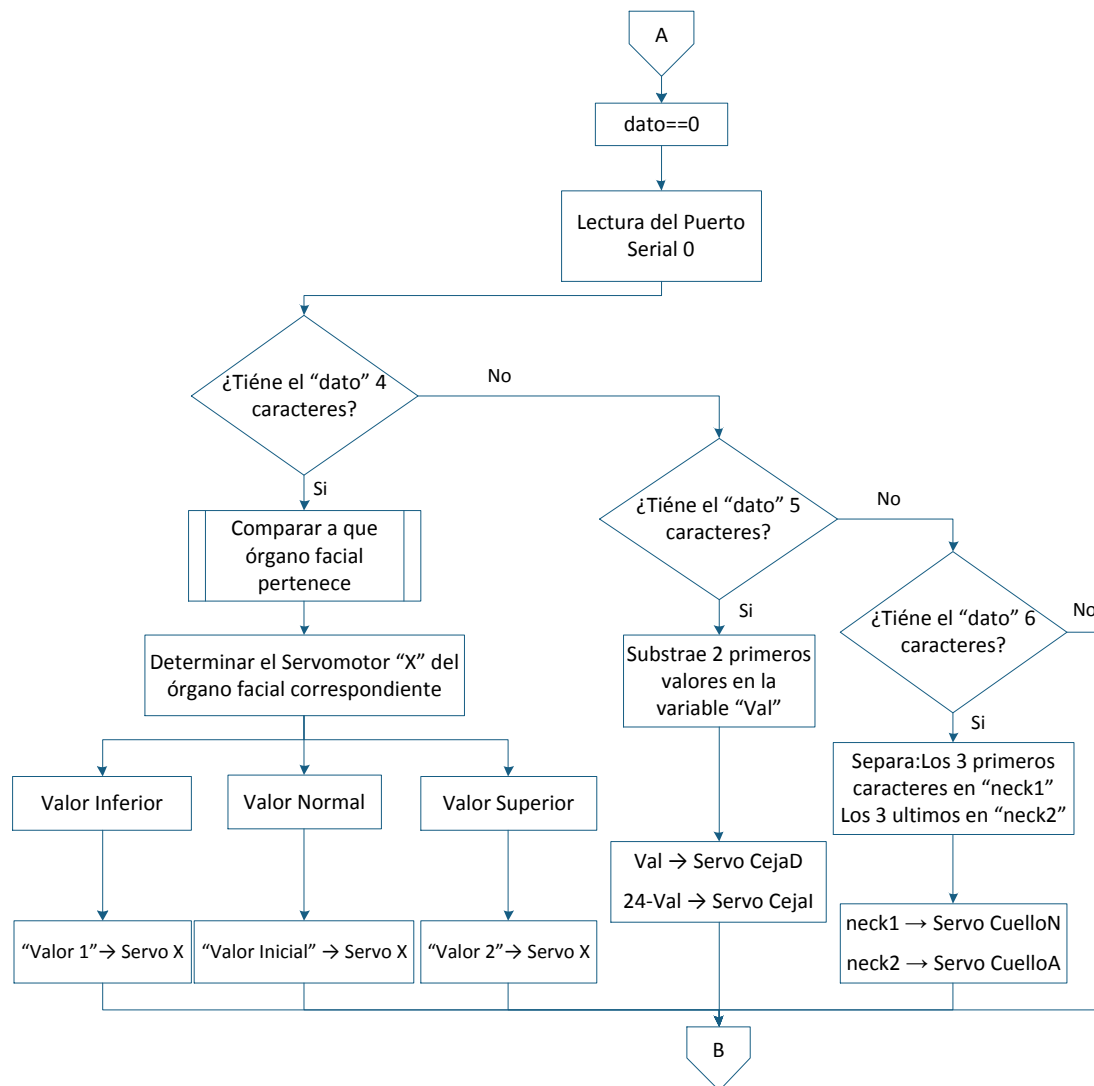


Figura 3.26 Void Loop del Sketch para la Tarjeta Arduino.

El Sketch completo desarrollado para el control del rostro robótico, se detalla en el Anexo D-3, como líneas de programación en lenguaje C, cuyo archivo titula “Vida_de_K-Lu-K”. Siendo de suma importancia el correcto funcionamiento del programa principal, puesto que toda la ejecución de las capacidades dotadas al robot, solo serán llevadas a cabo bajo la correcta programación de la tarjeta de control.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

La finalidad de analizar los resultados obtenidos, es determinar el comportamiento real del robot, para asegurar el funcionamiento óptimo del proyecto en relación a los parámetros previamente definidos, por lo que se somete a la verificación de cada uno de los sistemas y del robot en general.

4.1 Pruebas del Sistema Mecánico

El sistema mecánico del rostro robótico, no es sometido a cargas externas, de manera que la forma de probar si su construcción es adecuada y sus dimensiones cumplen con los requerimientos del robot, es en pleno funcionamiento del mismo; tanto en movimientos de posiciones límites o en posiciones neutras. Por lo señalado, es conveniente señalar que durante un tiempo aproximado de 1500 horas el robot ha permanecido ensamblado, y en pleno funcionamiento un total de 3 horas, sin ocurrir ninguna deformación que pueda afectar la composición mecánica del robot. Concluyendo que el diseño y la construcción mecánica fue totalmente satisfactoria.

4.2 Pruebas de Sensores y Actuadores

Para determinar el funcionamiento de los elementos electrónicos, se recurre al análisis independiente de entradas y de salidas, cada una con el ajuste preciso requerido por la programación de la tarjeta arduino, siendo este requisito determinante en el correcto funcionamiento del rostro robótico en sí.

4.2.1 Dispositivos de Comunicación

El módulo de voz se comprueba usando el software de Arduino (IDE), requiriendo de la conexión de la tarjeta Arduino a una PC mediante el puerto serial, lo que permite desplegar un monitor virtual (mostrado en la figura 4.1), en el que se muestran los datos recibidos conforme a las palabras que el operario departa. Una vez reconocido el comando AT, se imprimirá en el puerto correspondiente, un mensaje conforme al resultado adquirido.

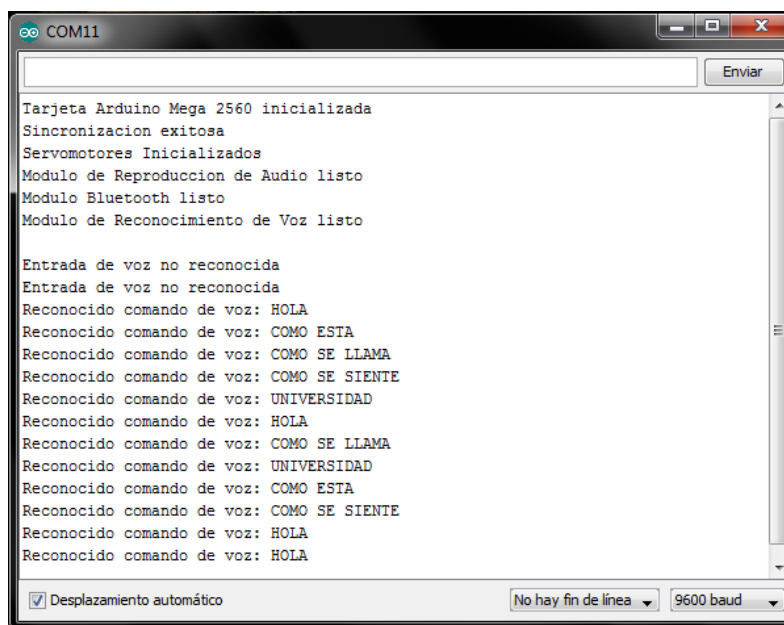


Figura 4.1 Reconocimiento de Voz en el Monitor Serial del IDE de Arduino.

En conformidad con lo descrito en el sketch, cuando el operador dice la palabra “Hola”, que corresponde al primer registro almacenado, entonces el módulo de reconocimiento de voz deberá enviar el comando AT correspondiente que es: 0x11 lo que significa que el módulo reconoció el registro Hola, de no ser así, el módulo no enviará este comando. Para comprobar el funcionamiento de los registros de voz grabados, se parlamentó en tono moderado una muestra de 50 veces cada registro, en función de la distancia a la que se acercó el micrófono, y se obtuvieron los siguientes resultados de reconocimiento:

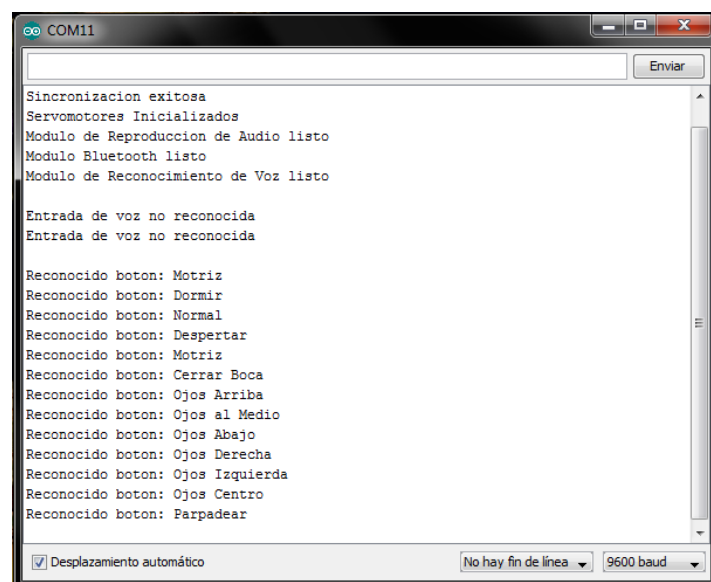
Tabla 4.1 Tabulación de Datos de Reconocimiento de Voz.

Preguntas	Distancia de Acercamiento al Micrófono			
	0.05 metros	0.20 metros	0.65 metros	1 metro
Hola	90%	74%	34%	16%
¿Cómo está?	86%	68%	32%	12%
¿Cómo se llama?	88%	80%	24%	4%
¿Cómo se siente?	94%	74%	42%	10%
Universidad	96%	84%	46%	16%

Los datos obtenidos reflejan que el robot reconoce tolerablemente cinco registros de voz grabados, siempre y cuando el micrófono esté cerca del hablante u operario.

Es necesario recordar que el módulo de reconocimiento de voz V.2 que dispone el robot, es voz-dependiente, es decir, necesariamente el operador debe tener una voz parecida (frecuencia) a la voz de la persona que grabó previamente los registros de VOZ.

La aplicación para un dispositivo móvil de pantalla táctil, se comprueba junto al módulo bluetooth, utilizando el monitor serial del IDE de Arduino, misma que también es programado para imprimir un mensaje conforme al trama de bits recibido. Para el caso, cada trama consta de entre 4 hasta 6 caracteres, y una vez descifrado por la ejecución de la programación, se imprime en el monitor virtual un mensaje diferente como se observa en la figura 4.2.



```

COM11
Enviar
Sincronizacion exitosa
Servomotores Inicializados
Modulo de Reproduccion de Audio listo
Modulo Bluetooth listo
Modulo de Reconocimiento de Voz listo

Entrada de voz no reconocida
Entrada de voz no reconocida

Reconocido boton: Motriz
Reconocido boton: Dormir
Reconocido boton: Normal
Reconocido boton: Despertar
Reconocido boton: Motriz
Reconocido boton: Cerrar Boca
Reconocido boton: Ojos Arriba
Reconocido boton: Ojos al Medio
Reconocido boton: Ojos Abajo
Reconocido boton: Ojos Derecha
Reconocido boton: Ojos Izquierda
Reconocido boton: Ojos Centro
Reconocido boton: Parpadear

Desplazamiento automático No hay fin de línea 9600 baud

```

Figura 4.2 *Recepción de Subrutinas en el Monitor Serial del IDE de Arduino.*

Cada uno de los datos enviados desde el dispositivo móvil es recibido por la tarjeta Arduino a un punto de 0% de tasa de error, contemplando una distancia de 10 metros desde el Smartphone hasta el módulo bluetooth y, contando con objetos entre estos dos elementos. Y hasta una longitud de 34 metros sin existir obstáculos intermedios.

4.2.2 Dispositivos de Salida

Los servomotores y el módulo de audio son evidenciados una vez registrados de manera aleatoria diferentes palabras o acciones, en donde se obtuvo una respuesta de

audio puntual en cada registro o un movimiento requerido en conformidad con la descripción de la aplicación registrado. Esta prueba no presenta ningún error, comprobando así que la tarjeta electrónica funciona correctamente, así como los altavoces y el módulo de reproducción de audio. Cabe señalar que existe un control del volumen ubicado en el antebrazo izquierdo del robot.

4.3 Pruebas Generales

La presentación final del robot K-Lu-K es la siguiente:



Figura 4.3 Robot K-Lu-K.

La apariencia externa sin duda es similar al de un hombre, teniendo en cuenta primeramente la estructura fisiológica del torso y la cabeza. Además el látex pintado recrea una piel ficticia sobre la cual se sitúa el bigote, las cejas y el pelo de característica natural. Por otro lado los ojos y los dientes complementan al robot como si se tratase de un ser vivo.

El rostro robótico en términos generales, contiene una “personalidad ficticia”, personalidad porque las características son independientes comparadas con un ser humano, pero ficticias a la vez debido a que no es persona para acreditar un diferencial de la humanidad. En ese sentido se debe considerar que el objeto como tal conjuga los rasgos proporcionados por su autor para simular de la manera más parecida posible, los gestos y emociones de un ser humano común.

Se observa luces led en los elementos electrónicos dispuestos en el torso del robot, que determinan el estado de los diferentes componentes, sea este apagado o prendido, como se indica en la siguiente figura.

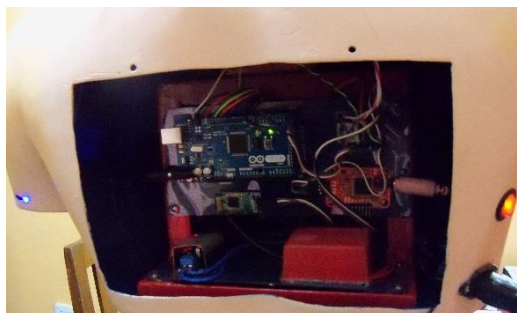


Figura 4.4 Monitorización Mediante Luces Led.

El robot puesto en movimiento permite que el operario pueda ubicar cada uno de sus ocho posiciones a su gusto, obteniendo los siguientes gestos faciales y corporales.



Figura 4.5 Imágenes de Diferentes Gestos del Robot K-Lu-K.

4.3.1 Alcances y Limitaciones

✓ Las acciones que puede realizar el robot, comparado con las acciones que puede realizar una persona, evidentemente tienen una gran diferencia. Por lo que se reconoce primeramente la infinidad del Creador al hacer una obra de suma perfección como es el hombre, y por otro lado la imitación que implica el desarrollo de este proyecto.

✓ El rostro robótico no cuenta con el movimiento de todos los músculos de la cara, así como tampoco con un material que cumpla con la función sensitiva de la piel, por lo que su funcionamiento no depende directamente de factores externos como la humedad y la temperatura.

✓ El control del robot es totalmente dependiente, en razón de que los sensores para el caso son limitados.

✓ Es un elemento que requiere una fuente externa de alimentación de energía para funcionar.

✓ El robot funciona en los parámetros definidos bajo su misma programación, y podría ampliar sus acciones en función el aumento o modificación del sketch guardado en la tarjeta controladora.

4.4 Validación de la hipótesis

El diseño y construcción de un rostro robótico permite ejecutar gestos y emociones aparentes a las de un ser humano.

La hipótesis ha sido validada en base a las siguientes razones:

✓ El conjunto de movimientos que puede realizar el rostro robótico, por medio del control bajo la aplicación para un sistema Android; Dota al rostro robótico de una serie de gestos faciales y gestos corporales, compuestos por posiciones diferentes de hasta ocho grados de libertad en la geometría final del sistema.

- ✓ El robot K-Lu-K puede simular la ejecución de emociones al responder a las preguntas: ¿Hola?, ¿Cómo está?, ¿Cómo se llama? y ¿Cómo se siente?, proponiendo un aparente estado de ánimo al responder cada una de las preguntas.
- ✓ Bajo la selección del botón “Autismo”, el robot desarrolla una breve terapia dirigida a tratar el síndrome del espectro autista, desarrollando así una solución mecatrónica a este problema social.
- ✓ Por otro lado, al reconocer el comando de voz “Universidad”, el robot responde con una reseña histórica y comercial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extensión Latacunga, demostrando otra aplicación del rostro robótico, en este caso enfocado al área de márketing y publicidad.
- ✓ Todas estas características, además de la apariencia externa que engloba entre otras cosas el modelo y el acabado facial y corporal, el cabello, cejas y bigote natural, la ropa, la voz humana y todos los detalles minuciosos; representan claramente la estética real de un ser humano adulto de sexo masculino.

4.5 Análisis Económico

La construcción del rostro robótico exige de componentes cuyo costo se detalla, no solo por el precio de cada material o elemento, sino también por la modificación, adecuación y el costo de mano de obra, tanto al preparar cada molde, como al ensamblar cada elemento requerido, por lo que el análisis económico del proyecto se divide en cuatro secciones detalladas a continuación.

En la tabla 4.1 se define la cantidad y el precio de los elementos que componen el robot, así como los materiales necesarios para su construcción.

Tabla 4.2 Detalle de Costos de los Materiales y Elementos del Rostro Robótico.

Cant.	Especificación	Costo Unitario	Costo Total
12	Barro especial (libras)	\$ 0,13	\$ 1,61
1	Catalizador 250ml	\$ 10,71	\$ 10,71
1	Chumacera NBR UCF 201 12mm	\$ 8,93	\$ 8,93
1	Eje de aluminio de 3/4"	\$ 7,59	\$ 7,59

Continúa

1	Fantoma dental de Ivorina	\$	53,57	\$	53,57
1	Fibra de vidrio (malla)	\$	0,76	\$	0,76
1	Fuente 9 voltios 1A	\$	15,00	\$	15,00
1	Fuente de 5 voltios 1A	\$	10,00	\$	10,00
1	Fuente Variable tipo Switching	\$	33,93	\$	33,93
2	Látex Líquido color piel 750ml	\$	66,96	\$	133,93
1	Lamina de Acero A36 (18x25cm)	\$	5,45	\$	5,45
1	Maniquí (torso)	\$	47,04	\$	47,04
1	Melanina plancha pequeña	\$	4,46	\$	4,46
1	Micrófono capacitivo PC	\$	4,64	\$	4,64
3	Micro Servo HT900 - 1,6 Kg	\$	13,26	\$	39,78
1	Módulo Bluetooth HC-07	\$	17,86	\$	17,86
1	Módulo Reconocimiento de voz V,2	\$	37,50	\$	37,50
1	Módulo WTV020 Mp3 mini	\$	14,73	\$	14,73
2	Parlantes 3W	\$	10,71	\$	21,43
1	Perfil estructural Ángulo L doblado	\$	10,89	\$	10,89
1	Platina de Acero A36 (50cm)	\$	4,46	\$	4,46
1	Peluca Realista	\$	31,25	\$	31,25
1	Puppeteer's kit (Ojos Androide)	\$	98,75	\$	98,75
3	Resina Litro	\$	22,32	\$	66,96
2	Rodamiento 5mm	\$	1,34	\$	2,68
1	Rodamiento UC201-08 1/2"	\$	2,23	\$	2,23
3	Servo 3001mg - 3,2 Kg	\$	21,20	\$	63,60
1	Servo 6001mg - 6,4 Kg	\$	22,32	\$	22,32
1	Servo 9001mg - 9,8 Kg	\$	22,32	\$	22,32
1	Soporte inferior del Rostro Robótico	\$	31,25	\$	31,25
1	Tarjeta Arduino Mega 2560	\$	75,89	\$	75,89
1	Tarjeta Micro SD 2GB	\$	16,56	\$	16,56
30	Yeso piedra - amarillo (libra)	\$	0,76	\$	22,77
15	Yeso blanco (libras)	\$	0,27	\$	4,05
	Total	\$	725,08	\$	944,92
	I.V.A.			\$	113,39
	Total Final			\$	1.058,31

El costo de los componentes principales utilizados en la fabricación del rostro robótico es de \$1.058,31 dólares.

La tabla 4.2, describe los gastos de costo menor, resumido en diferentes ítems. Los cuales pertenecen a distintos materiales no contemplados en la tabla 4.1.

Tabla 4.3 Resumen de Gastos Varios.

Elementos	Costo
Materiales Acabados de Pintura	\$ 75,00
Materiales Elaboración de Circuitos Impresos	\$ 22,32
Materiales Electrónicos	\$ 132,40
Cables (diferentes especificaciones)	\$ 48,21
Pernos, tornillos, tuercas y brocas	\$ 20,98
Materiales Composición de Careta	\$ 60,71
Macillas	\$ 21,43
Elementos de Ferrería (sierras, limas, discos)	\$ 30,36
Total	\$ 411,42
I.V.A.	\$ 49,37
Total Final	\$ 460,79

Para la modificación y elaboración de diferentes elementos, se empleó diversos procesos de maquinado, los cuales se describen en la tabla 4.3 y que relaciona el costo por el tiempo que se requirió. Teniendo en cuenta además del costo de los elementos que se requirieron como: electrodos, brocas, diente de cierra, entre otros.

Tabla 4.4 Detalle de Maquinado.

Proceso	Costo/hora	Tiempo	Costo
Soldado	\$ 12,50	1	\$ 12,50
Cortado	\$ 5,00	6	\$ 30,00
Torneado	\$ 10,00	1	\$ 10,00
Esmerilado	\$ 7,00	3	\$ 21,00
Taladro	\$ 7,00	3	\$ 21,00
Pintado	\$ 12,00	3	\$ 36,00
Elaboración de Moldes	\$ 4,50	46	\$ 207,00
Maquillado	\$ 15,00	3	\$ 45,00
Total			\$ 382,50

El costo directo donde se rehúne los costos detallados anteriormente, definen por separado lo que se debería invertir para obtener todas las partes que conforman el rostro robótico, esto suma un total de \$1.901,59 dólares, como refleja la tabla 4.4.

Tabla 4.5 Costo Directo del Proyecto.

Descripción	Totales
Elementos	\$ 1.058,31
Materiales	\$ 460,79
Maquinado	\$ 382,50
Total	\$ 1.901,59

Para determinar el costo final del rostro robótico, se adiciona al costo directo del robot el costo del tiempo empleado en horas de ingeniería, que aproximadamente llegan a ser 400 horas, por un precio general de \$ 8,00 dólares cada hora. Además de la suma de gastos imprevistos generalmente empleados en varios, como movilización, repuestos y detalles no contemplados.

Tabla 4.6 Descripción del Costo Final del Rostro Robótico.

Especificaciones	Valor
Costo Directo del Robot	\$ 1.901,59
Ingeniería	\$ 2.000,00
Adicionales	\$ 50,00
Total	\$ 3.951,59

El Costo Real del rostro robótico asciende a \$ 3.951,59 dólares, que es sumamente bajo comparado a animatronic's o robots humanoides, que a muy aparte del costo de importación, triplican el valor contemplado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Se diseñó y se construyó un rostro robótico que posee apariencia humana, y ejecuta gestos y emociones controladas de manera inalámbrica.
- ✓ El diseño asistido por computador, permitió delinear cada componente del rostro robótico; precisando la construcción de elementos mecánicamente ideales, para la solución de los sistemas estáticos y dinámicos del robot.
- ✓ Se implementó componentes electrónicos de acuerdo a parámetros de diseño, técnicamente fundamentado y conservando el aspecto externo; que brindan al robot diferentes capacidades propias de una persona.
- ✓ El control del conjunto de movimientos provistos, frente a la sincronía de reproducción de audio, destaca la versatilidad que posee el robot; precisando respuestas bajo un criterio emocional, y diversos gestos faciales y corporales.
- ✓ En torno a funcionalidades del proyecto, el robot conduce a soluciones mecatrónicas ante problemáticas sociales como el autismo, y propone además un nuevo concepto para difusión de publicidad y márketing.
- ✓ La aplicación para dispositivos móviles, desarrollada específicamente para el robot K-Lu-K, posee una interfaz atractiva, bajo un entorno fácil de manipular para cualquier usuario.
- ✓ La apariencia física que presenta el robot, es similar a la de un ser humano.
- ✓ En relación al costo del robot, el prototipo inicial que representa el proyecto constituye sumamente bajo, si se compara ante robots incluso de menores prestaciones.

5.2. Recomendaciones.

- ✓ Al momento de movilizar el rostro robótico se debe desacoplar la cabeza del torso, y de ser posible la estructura mecánica descrita como soporte inferior y el cuello, para evitar el daño, desconexión o ruptura de los componentes.
- ✓ Existen 10 comandos de voz no utilizados en el módulo de reconocimiento, que ampliarían las funcionalidades del robot, e incluso fueran más, si el reconocimiento de voz se establecería desde el dispositivo móvil, ya que actualmente existe esta prestación desde el App Inventor, donde se desarrolló la aplicación.
- ✓ El robot como sistema se compone de elementos flexibles, es posible programar muchas más ejecuciones así como terapias inclusivas ante trastornos del espectro autista como: el autismo, el asperger, y otros trastornos generalizados.
- ✓ Se sugiere utilizar una batería para que el robot no dependa de un interruptor cercano, de manera que sea un elemento móvil y funcione independientemente del lugar.
- ✓ Se puede repotenciar el robot usando la misma tarjeta de control, por medio de la inclusión de sensores, cámaras y Flexinol, que es un actuador-alambre que cumplen las funciones de un músculo.
- ✓ El rostro robótico puede formar parte de un robot androide e incluir un algoritmo de control robusto en función de las prestaciones que requiera.

BIBLIOGRAFÍA

- Arduino. (2004). *Resumen*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- Asimov, I. (2008). *El robot completo*. Madrid: Alamut/Bibliópolis.
- Bisite. (2012). *Geminoid HI-4: One of the most advanced will be in PAAMS conference*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de <http://bisite.usal.es/en>
- Brady, M. & R. (1984). En & R. Brady, M, *The 1st International Symposium*. Massachusetts: MIT Press.
- Caminante. (2007). *Kensei: el robot sensible*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de <http://www.caminando.com.es/kansei-el-robot-sensible/>
- Cedazo, E. (2011). *La reproducción de la música y los sonidos. "El transductor electroacústico"*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de <http://eltamiz.com/elcedazo/2011/05/12/la-reproduccion-de-la-musica-y-los-sonidos-el-transductor-electroacustico>
- Cosío, M. (2011). Recuperado el 12 de octubre de 2014, de <http://www.cassetteblog.com/2011/10/curiosidades-el-arte-de-la-animatronica-por-manuel-cosio/>
- DeConceptos. (2010). Recuperado el 28 de octubre de 2014, de <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/emocion#ixzz3S4KqDbyq>
- Elechouse. (2008). *Módulo WTV020-sd*. Recuperado el 2014, de <http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/MP3%20Sound%20Mini%20SD%20Card%20Module/MP3%20Mini%20SD%20Card%20Module.pdf>
- Elechouse. (2008). *Voice Recognition Module V2*. Recuperado el 19 de octubre de 2014, de <http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/Voice%20Recognition%20Module/Manual.pdf>
- Elechouse. (2010). *Wav/ad4 mini sd card module*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de http://www.elechouse.com/elechouse/index.php?main_page=product_info&products_id=418
- Enfermedades. (2010). *Cuales son los hueso del cráneo*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de <http://enfermedadesyremedioscaseros.com/cuales-son-los-huesos-del-craneo>

- Fasttech. (2012). *Electronic components and modules*. Recuperado el 25 de octubre de 2014, de <http://www.fasttech.com/product/1129204-jy-mcu-hc-07-bluetooth-wireless-serial-port-module>
- Flickr. (2014). Recuperado el 06 de octubre de 2014, de <https://www.flickr.com/photos/nostri-imago/2844136721/>
- García, J. (2012). *Bluetooth*. Recuperado el 14 de octubre de 2014, de <http://nerd-files.com/bluetooth.html>
- Genius. (2014). *Speakers*. Recuperado el 16 de enero de 2015, de <http://www.geniusnet.com/Genius/wSite/np?ctNode=116&mp>
- Globedia. (2013). *Diasporaweb*. Recuperado el 23 de octubre de 2014, de La empatía de los niños hacia los robots los saca de la ciencia ficción hacia terapias como las diseñadas para los autistas: <http://ec.globedia.com/empatia-ninos-robots-saca-ciencia-ficcion-terapias-disenadas-autistas>
- Integral, Á. (2004). *XB Bolsa 100 fusibles cristal largo 2 amp*. Recuperado el 30 de octubre de 2014, de <https://www.area-integral.net/xb-bolsa-100-fusibles-cristal-largo-2~210302d.aspx>
- Ishiguro, H. (2007). *Hiroshi Ishiguro Laboratories*. Recuperado el 24 de octubre de 2014, de <http://www.geminoid.jp/en/robots.html>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.
- Norton, R. (1999). *Diseño de Máquinas*. México DF: Pearson educación, Prentice Hall, 1999.
- Pallás, R. (2003). *Instrumentos Electrónicos Básicos*. Madrid: Marcombo.
- Pardo, J. (2013). *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión, en bienes de equipo y maquinaria industrial*. IC editorial.
- Psyciencia. (2013). *Emociones y expresiones faciales universales*. Recuperado el 20 de octubre de 2014, de <http://www.psyciencia.com/2013/10/17/emociones-y-expresiones-faciales-universales/>
- Roldán, J. (2014). *Motores de Corriente Continua*. Madrid: Paraninfo.
- Servo Database. (2012). *Power HD Servos*. Recuperado el 26 de septiembre de 2014, de <http://www.servodatabase.com/servos/power-hd?page=2>
- Sobreconceptos. (2013). Recuperado el 20 de octubre de 2014, de <http://sobreconceptos.com/gesto#ixzz3S4MFMggR>
- Some, E. (2012). *Condenser microphone*. Recuperado el 22 de octubre de 2014, de <https://electrosome.com/wp-content/uploads/2013/08/Condenser-Mic.jpg>

- Superrobotica. (2014). *¿Qué es un servo?* Recuperado el 26 de octubre de 2014, de <http://www.superrobotica.com/Servosrc.htm>
- Toborino. (2012). *Dispositivos de protección contracorrientes*. Recuperado el 26 de octubre de 2014, de <http://programacasasegura.org/mx/seguridad/dispositivos-de-proteccion-contrasobrecorriente/>
- Torrente, O. (2013). ARDUINO Curso práctico de formación. Madrid: RC Libros.
- Universidad Carlos III. (2005). *Rodamientos*. (I. T. Mecánica, Ed.) Recuperado el 16 de enero de 2015, de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/rodamientos.pdf>
- Voltix. (2014). *Servo motores estandar HD-3001HB*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de http://www.voltix.com.mx/openvoltix/motores_y_actuadores
- Xicote. (2014). *Mitercergrado*. Recuperado el 28 de octubre de 2014, de Sistema muscular: http://mitercergrado.mex.tl/416254_Sistema-Muscular.html
- Zuruk zum Lexicon. (2008). *STAR WARS, U. .* Recuperado el 22 de octubre de 2014, de <http://www.starwars-union.de/lexikon/54/C-3PO/>

GLOSARIO

A

AD4.- Formato de audio, que codifica al archivo en 4 bits con frecuencias de muestreo de hasta 32 kHz. Un archivo de audio en formato AD4 ocupa menor espacio de almacenamiento que el mismo archivo en formato MP3 o WAV.

Android.- Con referencia al sistema operativo diseñado para dispositivos móviles con pantalla táctil bajo el núcleo Linux. La versión básica de Android es conocida como Android Open Source Project (AOSP).

ASTM.- (American Society for Testing Materials), Es un organismo de normalización Americano que certifica a materiales en función de la calidad abarcando un espectro muy amplio, comprendiendo los revestimientos y procesos de tratamiento de dichos materiales.

B

Baudios.- (Baud), Unidad de medida que representa el número de caracteres o símbolos por segundo en medio de una transmisión digital, donde cada símbolo puede codificar 1 o más bits, dependiendo estrictamente del esquema de modulación en que se encuentre.

C

Canvas.- (Lienzo), Componente en la creación de una aplicación para dispositivos móviles, al insertar un “lienzo”, el desarrollador adquirirá los datos en función de coordenadas x e y seleccionados bajo un área de la pantalla táctil.

H

HMI.- (Human-Machine Interface), Se refiere a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de automatización de procesos en los que generalmente el control se realiza por medio del uso de una pantalla.

I

Ivorina.- Material utilizado para la elaboración de dientes artificiales que cumplen con requisitos estéticos y funcionales, estos se caracterizan por su robustez, están dotados de un detallado relieve, surcos, lomos y fisuras, que reproduce la morfología exacta de un diente natural. A la dentadura completa empleada para estudio se le denomina Fantoma de Ivorina.

L

Label.- (Etiqueta), Componente en la creación de una aplicación para dispositivos móviles, al insertar una “etiqueta”, existirá un espacio definido en donde se puede insertar una palabra o mensaje, o simplemente un espacio vacío en un lugar de la pantalla de la aplicación.

N

NBR.- Industria Internacional de elaboración y comercialización de rodamientos y suministros de alta calidad, donde sus elementos se etiquetan por nombre de la marca.

S

Sketch.- (Bosquejo), Es una parte de código fuente listo para abrir con el entorno de desarrollo integrado de Arduino y ser cargado sobre nuestro dispositivo. Sobre él se escribe todo el comportamiento que tiene un proyecto, incluyendo respuestas ante entradas determinadas, cálculos internos, salidas del sistema, etcétera. Su extensión es *.ino*.

Screen.- (Pantalla), Es la representación visual de una serie de gráficos, bloques o palabras en una superficie virtual, en el desarrollador de una aplicación, un screen contiene todos los componentes que se visualizarán a la vez en el dispositivo móvil.

Slider.- (Control deslizante o regulador), Componente en la creación de una aplicación para dispositivos móviles, al insertar un “control deslizante”, el desarrollador adquirirá los datos en función de la coordenada x seleccionada bajo una barra horizontal o vertical de la pantalla táctil.

Switching.- (Conmutación), Referente a una fuente conmutada, que es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación, permitiendo que la salida no se vea afectada por el consumo brusco de corriente, mejorando la eficiencia del sistema.

T

TTL.- (Lógica Transistor a Transistor), Tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales.

U

UART.- (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), Chip de algunos sistemas digitales, encargados de convertir los datos recibidos en forma paralela a serial, para efectos de comunicación con otro sistema externo.

Anexos