



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

“DESARROLLO DE ROBOT SOCIAL”

TESIS

Para obtener el título de:

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Presenta:

OSCAR LEONARDO URIZA CASAREZ

Asesor 1 y director de tesis:

DR. JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ AMECA

Asesor 2:

DRA. ELSA CHAVIRA MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que me han dado tanto apoyo a lo largo de mi vida, que me han amado y me han tenido una enorme paciencia en estos años, gracias por darme un trozo de sus almas para poder ser.

A mi hermano por ser una guía y darme ánimo en los momentos que me sentí perdido.

A mis profesores de la facultad, le agradezco especialmente al Dr. José Luis Hernández Ameca por darme el apoyo para realizar esta tesis.

A los amigos que tengo y los que se han ido. A todas y cada una de las cosas buenas y malas que me han sucedido pues en las experiencias la vida obtiene forma.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	5
1.1 Antecedentes del proyecto	5
1.2 Descripción del problema	5
1.3 Objetivos generales y específicos del proyecto	5
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Hipótesis	6
1.5 Alcances y limitaciones	6
1.5.1 Alcances	6
1.5.2 Limitaciones	6
1.6 Justificación	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Robótica.....	7
2.2 Robótica social	7
2.3 Dispositivos electrónicos	7
2.3.1 Batería	7
2.3.2 Servomotor	7
2.3.3 Raspberry Pi	7
2.3.4 Pantalla TFT (Thin Film Transistor) LCD (Liquid Crystal Display)	8
2.3.5 Botón Pulsador	8
2.4 Software	8
2.4.1 Python	8
2.4.2 Diagrama de flujo	8
2.5 Tecnología CAD/CAM	8
2.5.1 Impresora 3D	9
2.5.2 Blender	9
2.6 Apariencia del robot	9
2.7 Teoría del valle inquietante	9
2.8 Las seis emociones básicas	10
2.9 Las emociones relacionadas con el color	10

CAPÍTULO 3. DISEÑO	11
3.1 Características ideales del robot.....	11
3.2 Diseño del algoritmo.....	15
3.3 Modelado de piezas del robot.....	16
3.4 Diseño a bloques del sistema electrónico	18
CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE	19
4.1 Impresión de piezas	19
4.2 Montaje de componentes electrónicos	20
4.2.1 Pantalla TFT-LCD	20
4.2.2 Raspberry Pi Zero	20
4.2.3 Servomotores.....	21
4.3 Cableado y conexiones.....	21
4.3.1 Pantalla TFT-LCD	21
4.3.2 Tablero de botones pulsadores	22
4.4 Configuración del software.....	24
4.4.1 Raspberry Pi	24
4.4.2 Librerías para la pantalla TFT-LCD.....	24
4.5 Desarrollo del código.....	25
CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN	27
5.1 Prueba de usabilidad	27
CAPÍTULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	32
6.1 Resultados	32
6.2 Conclusiones	33
6.3 Trabajo futuro	34
REFERENCIAS	35

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del Proyecto

La robótica social se centra en el diseño y desarrollo de robots que puedan interactuar con las personas de una manera más natural y fluida, y esto se logra mediante la imitación de comportamientos naturales y el compromiso social.

La creación de canales de comunicación de empatía social entre robots sociales y humanos ha comenzado a hacerse realidad. Hoy en día, el desarrollo de agentes empáticos y afectivos está dando a los científicos otra forma de explorar la dimensión social del ser humano. En este trabajo, presentamos el proyecto humanoide FACE que tiene como objetivo crear un androide social y emocional. FACE es una cabeza androide con un cuello articulado montado sobre un cuerpo pasivo. Para permitir que FACE perciba y exprese emociones, se han desarrollado dos motores específicos. Un aparato sensorial capaz de percibir el "mundo social", y un motor de generación de expresiones faciales que permite al robot expresar sus emociones sintéticas. El sistema también se ha integrado con un componente de generación de mirada basado en la atención que permite al robot seguir de forma autónoma una conversación entre sus compañeros. El marco desarrollado ha sido implementado y probado en varias configuraciones estándar de interacción humano-robot. Los resultados demostraron las prometedoras capacidades sociales del robot para percibir y transmitir emociones a los humanos a través de la generación de expresiones faciales emocionales perceptibles y un comportamiento socialmente alineado [1].

Enfrentarse y apuntar hacia objetivos en movimiento es un comportamiento habitual y natural en la vida diaria. Los robots sociales deberían poder mostrar tales comportamientos coordinados para interactuar naturalmente con las personas. Por ejemplo, un robot debería poder señalar y mirar objetos específicos. Es por esto que en este artículo se propone un esquema para generar un movimiento coordinado cabeza-brazo para un robot humanoide con dos grados de libertad para la cabeza y siete para cada brazo [2].

En este artículo, examinamos la efectividad de la distancia social entre un agente virtual y los usuarios, y la instrucción de la mirada usando una pantalla que se puede ver estereoscópicamente sin usar ningún dispositivo portátil. Un robot real no siempre puede mantener una distancia interpersonal adecuada, a través de gestos no verbales debido a su limitado rango de movimiento [3].

1.2 Descripción del problema

El problema que se aborda en el presente trabajo es el de desarrollar la estructura superior para un robot social. Los problemas a resolver serán diseño, manufactura, armado, electrónica y programación.

1.3 Objetivos generales y específicos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar la estructura superior de un robot empleando una metodología evolutiva.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar estructura, electrónica y lógica del robot.
- Manufacturar y ensamblar el prototipo.
- Programar las entradas y salidas de datos del sistema empotrado que maneja el robot, probar el funcionamiento de las secuencias móviles y salidas a pantalla provocadas por un sensor.
- Recopilar la información de movimientos y expresiones en pantalla.
- Analizar la información obtenida y comparar mediante lista de cotejo para realizar mejoras.

1.4 Hipótesis

Es posible desarrollar la estructura superior para un robot social aplicando conocimientos y técnicas de matemáticas, programación, electrónica y en general las ciencias de la computación.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

Se logró desarrollar el robot social planteado para la representación de seis emociones básicas de forma eficiente. Se obtuvieron modelos electrónicos, estructurales y lógicos del robot. Se manufacturó y armó al robot desde cero en base a los requerimientos planteados en su diseño estructural. Se lograron hacer experimentos con cincuenta usuarios los cuales manifestaron que el robot es funcional y amigable. Se lograron aplicar los conocimientos de las ciencias de la computación desde sus diferentes áreas de conocimiento y el desarrollo de habilidades autodidactas.

1.5.2 Limitaciones

Los tiempos de trabajo para el desarrollo del robot, el uso de materiales electrónicos, mecánicos, software y técnicos. El desconocimiento profundo de diferentes áreas como inteligencia artificial, dispositivos programables y uso de tecnologías CAD/CAM.

1.6 Justificación

Aportar a la robótica social mediante el desarrollo de un robot propio aplicando las ciencias de la computación. Debido a que la robótica social está adquiriendo un papel cada vez más importante en la humanidad.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Robótica

La robótica se encarga del diseño, construcción, operación y uso de robots. Los robots son máquinas automatizadas que pueden realizar tareas de manera independiente o semiautónoma.

El término robótica deriva de la palabra robot que a su vez viene de la palabra “*robo*” que en la lengua eslava significa trabajo. La robótica abarca diferentes áreas en las ciencias tales como la electrónica, computación y mecatrónica. Su propósito es crear máquinas que sean capaces de replicar acciones humanas y realizar diversas tareas [4].

2.2 Robótica social

Esta área de la robótica no solo se ocupa de la construcción de robots físicos, sino también de la creación de algoritmos que les permitan interactuar de manera efectiva y natural con las personas.

Un robot social combina aspectos técnicos y sociales, estos últimos son el propósito base del robot. El robot debe comportarse (funcionar) dentro de un contexto social y también debe poseer una apariencia (forma física) que sea amigable respecto al usuario, un robot es de tipo social cuando reúne estas dos características [5].

2.3 Dispositivos electrónicos

2.3.1 Batería

Una batería es un dispositivo que almacena energía y luego la descarga convirtiendo la energía química en electricidad. Las baterías típicas suelen producir electricidad por medios químicos mediante el uso de una o más celdas electroquímicas. Las baterías pueden conectarse entre sí en un circuito en serie o en paralelo [6].

2.3.2 Servomotor

Un servomotor es un tipo de motor eléctrico que tiene la capacidad de controlar el movimiento de su eje, en velocidad, aceleración, par y posición. Su bajo momento de inercia y su elevada capacidad de sobrecarga le permite hacer movimientos muy rápidos, con grandes aceleraciones y frenadas [7].

2.3.3 Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, del porte de una tarjeta de crédito, puede ser conectada a un monitor de computador o un TV, y usarse con un mouse y teclado estándar [8].

Raspberry Pi OS es un sistema operativo de código libre basado en Debian, optimizado para el hardware de la Raspberry Pi. Raspberry Pi OS respalda más de 35,000 paqueterías de Debian [9].

2.3.4 Pantalla TFT (Thin Film Transistor) LCD (Liquid Crystal Display)

La tecnología de TFT (Transistor de Película Fina), es un tipo especial de transistor de efecto campo que se fabrica depositando finas películas de un semiconductor activo, así como una capa de material dieléctrico y contactos metálicos sobre un sustrato de soporte. Un sustrato muy común es el cristal. Una de las primeras aplicaciones de los TFT son las pantallas de cristal líquido [10].

2.3.5 Botón Pulsador

También conocidos como interruptores de pulsación, son dispositivos electromecánicos que se utilizan para abrir o cerrar circuitos eléctricos temporalmente mediante una acción de presión. Su diseño básico consiste en un mecanismo de contacto que se activa al ser presionado y que, al liberar la presión, retorna a su posición original [11].

2.4 Software

2.4.1 Python

Python es un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel eficientes y un simple pero efectivo sistema de programación orientado a objetos. La elegante sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto a su naturaleza interpretada lo convierten en un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas, para la mayoría de plataformas [12].

2.4.2 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo muestra de forma gráfica (usando diferentes símbolos) la secuencia de un algoritmo o un proceso. Se utiliza para descomponer un problema en pasos más simples, facilitando así la comprensión y el análisis de control de un algoritmo.

Un diagrama de flujo es esencialmente una imagen, un mapa de un proceso, flujo o sistema. De forma más precisa es una representación diagramal de un sistema, programa de computación o flujo de un documento [13].

2.5 Tecnología CAD/CAM

La tecnología CAD (Computer Aided Design), que por sus siglas se traduce como "Diseño Asistido por Computadora" se refiere a la utilización de software para facilitar el diseño, la elaboración de modelos y la visualización de productos. La tecnología CAD ha revolucionado la manera en que se crean los planos y diseños, proporcionando herramientas que mejoran la precisión y la eficiencia en el proceso de diseño.

La tecnología CAM (Computer Aided Manufacturing), que significa "Fabricación Asistida por Computadora" se refiere al uso de software y sistemas computacionales para controlar maquinaria y los procesos de fabricación de productos. La tecnología CAM es complementaria a la CAD.

El propósito de las herramientas CAD es el diseño, modelado geométrico y su aplicación gráfica mediante modificadores geométricos, colores y cuadrículas. CAM es el proceso de manufactura de los diseños, como lo es la producción y el ensamblaje.[14]

2.5.1 Impresora 3D

Una impresora 3D es una máquina que utiliza la tecnología de fabricación aditiva para crear objetos tridimensionales a partir de un modelo digital.

La fabricación aditiva es el término formal para lo que solía llamarse prototipos rápidos y que hoy se conoce como impresión 3D. La fabricación aditiva consiste en crear piezas mediante capas de material, siendo cada capa una sección de la información CAD. [15]

Una impresora 3D recibe un archivo CAD, las capas de material van agregándose conforme a la información del archivo hasta que finalmente se forma el objeto del archivo CAD en el mundo real.

2.5.2 Blender

Blender es un conjunto de herramientas de creación de contenido 3D totalmente integrada, que ofrece una amplia gama de herramientas esenciales, que incluyen Modelado, Procesamiento, Animación y sistemas de control, Edición de video, Efectos visuales, Composición, Texturizado y varios tipos de Simulaciones dinámicas.[16]

2.6 Apariencia física del robot

Un robot social debe presentar un diseño amigable para mejorar la predisposición de las personas a interactuar. El diseño de un robot debe animar a los humanos a tratarle como una entidad socialmente consciente y por tanto debe ser atractivo [17]. El concepto de “Kindchenschema” planteado por Lorenz en 1943, dice que ciertas características físicas en los objetos detonan una respuesta instintiva de protección y cuidado por parte del ser humano [18].

Konrad Lorenz propone la idea de que ciertas características de los niños evocan tendencias protectivas en los adultos, por ejemplo, una cabeza grande en relación al cuerpo, rostro redondo, ojos grandes que son más expresivos, y en general características suaves como lo son contornos redondeados en el lugar de ángulos, pues estos son más atractivos [19].

2.7 Teoría del valle inquietante

Masahiro Mori fue el primero en proponer la idea del valle inquietante en 1970, un objeto con características humanoides le resulta familiar y agradable a un observador hasta cierto punto, luego de cruzar ese límite la impresión resultante es similar a la de ver un cadáver o un zombi lo cual causa repulsión.[20]

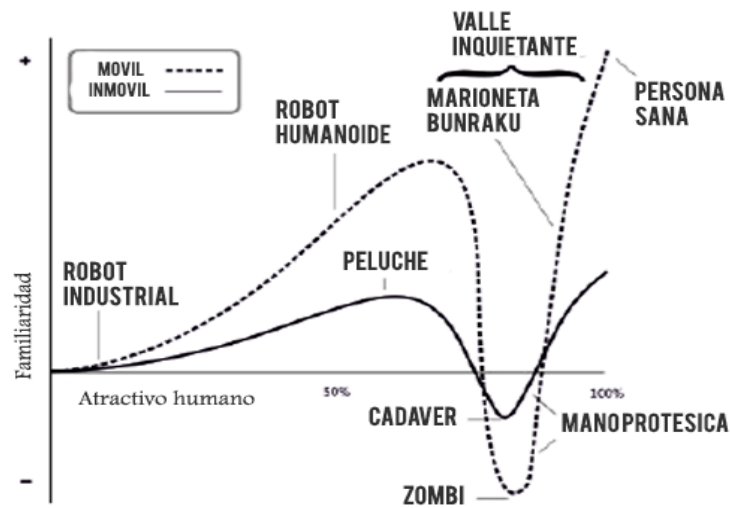


Fig. 1. Diagrama del valle inquietante.

2.8 Las seis emociones básicas

Paul Ekman identificó seis emociones básicas que se pueden reconocer en diferentes culturas: alegría, tristeza, enojo, miedo, sorpresa y asco. Propuso que estas emociones son innatas en el ser humano y fueron resultado de la evolución en nuestra especie.

Gran parte de mi presentación describe nueve características de las emociones de ira, miedo, tristeza, alegría, asco y sorpresa. Hay otras emociones que comparten estas nueve características como el disgusto, vergüenza, culpa y el temor. El adjetivo "básicas" indica que estas emociones se desarrollaron por su valor adaptativo al lidiar con tareas de vida fundamentales, tales como logros, pérdidas y frustraciones. Las emociones nos indican cómo la evolución nos ha dado mejores soluciones dependiendo de las circunstancias [21].

2.9 Las emociones relacionadas con el color

Las investigaciones acerca de la asociación de emociones con los colores no llegan a un resultado concluyente pues las reacciones a los colores no son universales, son subjetivas y dependen del contexto cultural y las experiencias de cada persona.

El color es uno de los elementos visuales que afecta las emociones de las personas. Aunque existen ligeras diferencias culturales, varios estudios en psicología del color han encontrado que la mayoría de los colores individuales generalmente tienen un significado o emoción. Por eso, la mayoría de los diseñadores profesionales utilizan colores en sus trabajos [22].

En realidad, es un proceso que depende tanto del contexto en que se encuentran y desarrollan, así como de su sistema visual, la identificación del color no depende específicamente de la edad, sino de su percepción y habilidad para memorizarlos, en cuanto al nombre del color se refiere porque, aunque no lo recuerden, no significa que no lo observan y que su sistema emocional lo percibe como es [23].

CAPÍTULO 3. DISEÑO

3.1 Características ideales del robot

La parte del diseño de las piezas CAD

- El robot debe tener una forma amigable (contornos suaves) para una interacción óptima.
- El robot debe tener piezas simples para ser desarmado con facilidad.
- El tablero debe tener seis botones de distinto color.
- Las ranuras para las piezas electrónicas deben permitir un acople sencillo.

La parte de las funciones lógicas de programación.

- El robot debe interactuar directamente con su entorno (mediante el tablero de botones).
- El robot interactúa con el usuario de manera no verbal, muestra en su rostro (pantalla TFT) alguna de las seis emociones básicas propuestas por Paul Ekman.
- El robot ejecuta un movimiento en los brazos dependiendo de la emoción seleccionada.

A continuación, se presenta la tabla 1, que consta de tres columnas (elemento, descripción y dimensiones) donde se muestra de forma resumida la información de cada una de las partes del cuerpo requeridas.

Elemento	Descripción	Dimensiones
Cabeza	Cabeza semiesférica parecida a un casco, consta de tres partes, para un desarme sencillo y espacio en su interior para colocar sistema empotrado y pantalla TFT.	15cm ancho x 16 cm de altura.
Torso	Torso compuesto por cinco partes que se ensamblan juntas, dos hombros cilíndricos, pecho, cadera y una columna para reforzar el ensamblaje.	30 cm de ancho x 20 cm de altura.
Brazo	El brazo se une al hombro por medio de un servomotor, consta de tres partes, la articulación que se une por el servomotor, brazo y antebrazo.	8 cm de ancho x 30 cm de altura.

Tabla 1. Elementos del cuerpo del robot social.

La tabla 2 muestra las seis emociones que el robot puede presentar en la pantalla y el movimiento de brazos asignado respectivamente.



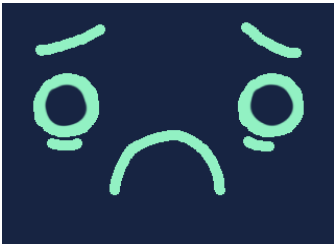







Emoción y movimiento de brazos	Imagen en pantalla	Pose
Alegría: Elevar brazos		
Tristeza: Bajar brazos		
Enojo: Flexionar brazos		
Sorpresa: Elevar brazos y flexionar hacia atrás		
Asco: Elevar brazos hacia afuera		

Tabla 2. Emociones mostradas por el robot social

Como parte del diseño del tablero se tomó en cuenta el uso de colores, cada botón tiene asignado un color. Debido a que no se pudo encontrar una única versión de los colores vinculados a las emociones básicas se realizó la encuesta digital de tipo likert que se muestra a continuación.

Colores y emociones

Encuesta sobre colores asociados a emociones. Indica que emoción asocias a cada uno de los colores

<p>El color rojo lo asocio con *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Asco<input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Alegría<input type="radio"/> Sorpresa	<p>El color verde lo asocio con *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Alegría<input type="radio"/> Asco<input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Sorpresa	<p>El color anaranjado lo asocio con: *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Asco<input type="radio"/> Alegría<input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Sorpresa
<p>El color azul lo asocio con *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Sorpresa<input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Asco<input type="radio"/> Alegría	<p>El color amarillo lo asocio con *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Sorpresa<input type="radio"/> Alegría<input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Asco	<p>El color violeta lo asocio con *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Sorpresa<input type="radio"/> Miedo<input type="radio"/> Asco<input type="radio"/> Enojo<input type="radio"/> Tristeza<input type="radio"/> Alegría

Fig. 2. Preguntas de la encuesta sobre emociones y colores

La encuesta fue respondida por cincuenta personas, los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.

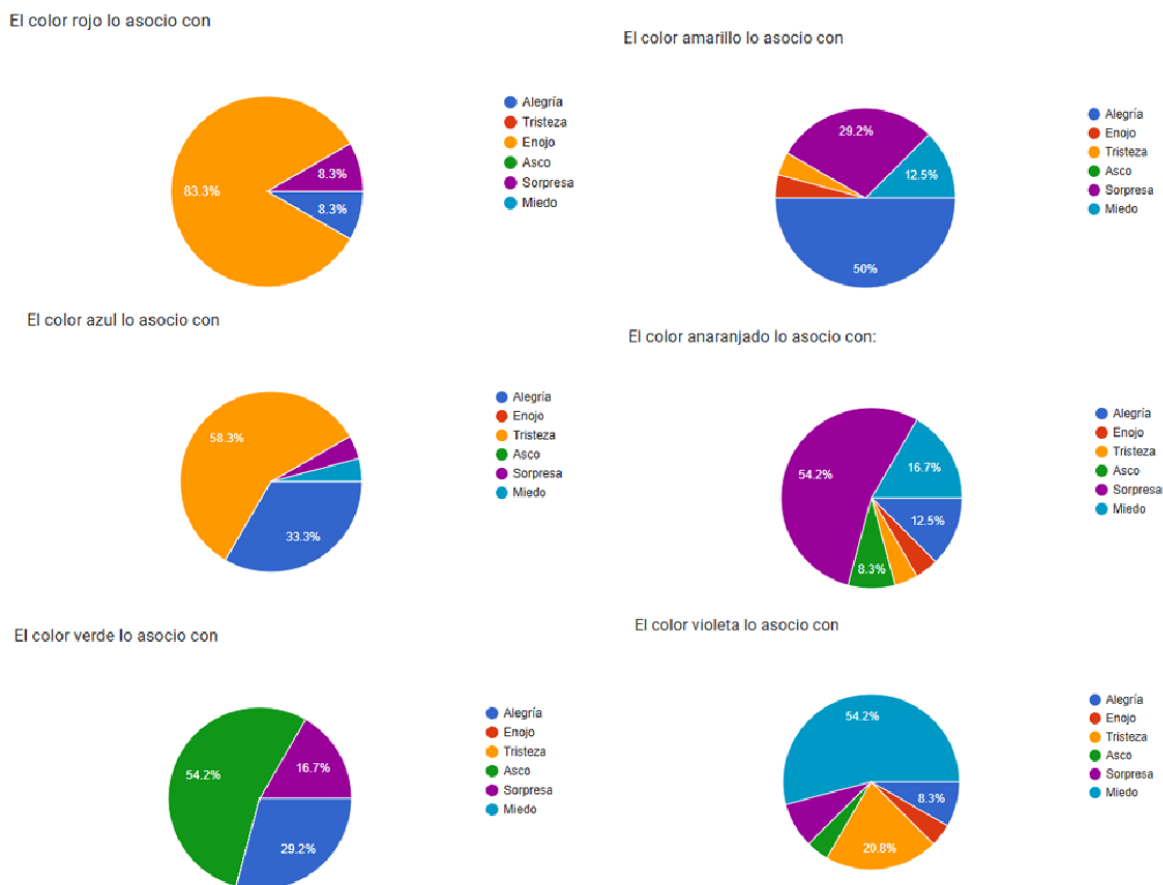


Fig. 3. Resultados de la encuesta colores y emociones

En base a los resultados en la figura 2 se asignan colores a cada botón como se muestra en la tabla 3, con el objetivo de mejorar la interacción humano-robot.

Color del botón	Emoción mostrada
Rojo	Enojo
Azul	Tristeza
Amarillo	Alegría
Verde	Asco
Anaranjado	Sorpresa
Violeta	Miedo

Tabla 3. Colores asignados a las emociones

3.2 Diseño del algoritmo

El usuario tiene seis botones (emociones) para elegir, al pulsar un botón una imagen es mostrada en pantalla, no hay un límite para las veces que se puede pulsar un botón, cada botón muestra una imagen (emoción) diferente, la figura 4 muestra el diagrama de flujo del algoritmo.

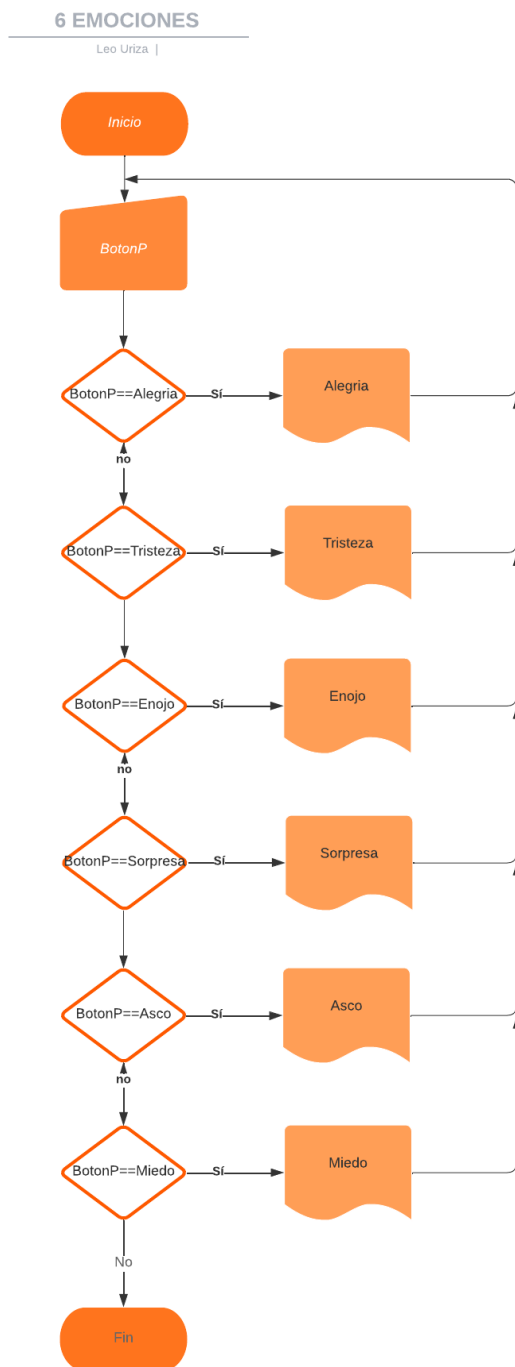


Fig. 4. Diagrama de flujo del algoritmo

3.3 Modelado de piezas del robot

Para recrear cualquier objeto en formato CAD se siguen los siguientes pasos:

- **Abstracción:** Cualquier objeto que existe tiene una forma básica; cubo, cilindro, esfera, por nombrar algunos, de modo que se empieza creando uno de estos.
- **Deformación:** Para acercarse más a la forma del objeto deseado, se agregan más vértices, caras o líneas (topología) a la vez que estos se mueven o rotan.
- **Topología y asignación de UVS:** Normalmente se debe cuidar que la topología de un objeto sea correcta para luego asignar texturas o materiales, sin embargo, debido a la naturaleza del proyecto este paso no es necesario.

La cabeza del robot necesita guardar la pantalla TFT, la Raspberry Pi y un servomotor, de modo que es hueca y desarmable, en la figura 5 se muestra el modelo de la cabeza.



Fig. 5. Cabeza de robot desarmada.

El torso debe guardar dos servomotores para cada brazo y debe tener espacio suficiente para una batería, la figura 6 muestra las cinco piezas que conforman el torso. Todas las piezas comparten ciertas características en su diseño, tales como el acople por medio de tornillos, ranuras para una mejor ventilación y ahorro de material al imprimir.



Fig. 6. Torso del robot desarmado.

Un punto que se debe tener en consideración es que la forma de abstraer una pieza inmóvil y una con articulación son diferentes. Lo que se busca en un brazo es replicar la capacidad para moverse y formar poses como en la figura 7 y lo que lo hace funcional son sus articulaciones, estas mismas imitan a un brazo humano figura 8.

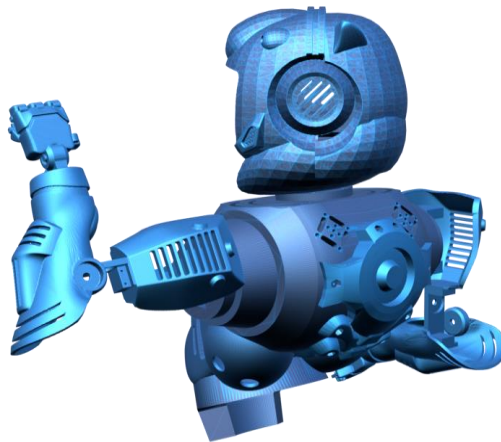


Fig. 7. Brazo robótico con rotación.

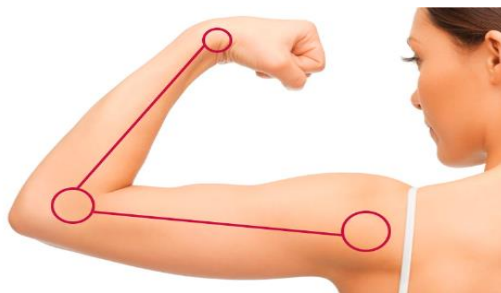


Fig. 8. Puntos de articulaciones en un brazo humano.

3.4 Diseño a bloques del sistema electrónico



Fig. 9. Diagrama a bloques del funcionamiento de la interfaz del robot

CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

4.1 Impresión de piezas

Las piezas del robot se crearon en una impresora 3D Creality K1, que puede imprimir piezas con dimensiones de 22x22x25cm usando filamento de ácido poliláctico (PLA).

Cada pieza debe estar completa y libre de imperfecciones para asegurar su correcto acople con las demás, en la figura 10 se muestra la vista frontal de la cabeza en donde se colocó el sistema empotrado.



Fig. 10. Vista frontal de la cabeza del robot.

En la Figura 11 se muestra en ensamble de hombros, pecho y espalda acoplados formando el torso del robot. Cada pieza que lo conforma cuenta con tornillos internos.



Fig. 11. Vista aérea del torso del robot

4.2 Montaje de componentes electrónicos

4.2.1 Pantalla TFT-LCD

La pantalla se ha montado en la parte frontal de la cabeza del robot, con la finalidad de emular expresiones faciales, en la figura 12 se muestra mediante una fotografía como ha quedado la pantalla integrada a la cabeza.



Fig. 12. Pantalla TFT-LCD acoplada en la cabeza mostrando la emoción de alegría.

4.2.2 Raspberry Pi Zero

El sistema empotrado Raspberry Pi Zero, se considera como el cerebro del robot ya que se encarga de controlar y realizar todo el funcionamiento, los componentes se han conectado hacia sus pines, como se muestra en la figura 13 se ha colocado dentro de la cabeza del robot.



Fig. 13. Vista trasera de la cabeza del robot en donde se ha integrado la Raspberry Pi.

4.2.3 Servomotores

Los servomotores son los transductores encargados de brindar movilidad a los brazos del robot, se han empotrado y fijado en las articulaciones (hombros y codos) como se muestra en la figura 14.



Fig. 14. Ensamble de servomotores en articulaciones (hombros y codos) del robot

4.3 Cableado y conexiones

4.3.1 Pantalla TFT-LCD

La tabla 4 tiene dos columnas (Pin TFT y Pin Raspberry) las filas indican la conexión entre cada pin.

Pin TFT	Pin Raspberry Pi
LED	Pin 33
SCK	Pin 23
MOSI	Pin 19
DC	Pin 15
RESET	Pin 13
CS	Pin 24
GND	Pin 06
VCC	Pin 01

Tabla 4. Conexión de pines, el pin LED de la pantalla va conectado al Pin 33 de la Raspberry Pi.



Fig. 15. Pantalla TFT conectada a Raspberry Pi

4.3.2 Tablero de botones pulsadores

Al pulsar un botón en el tablero se muestra una emoción (imagen) en el rostro (pantalla TFT) del robot. En la tabla 5 se muestran los pines que van conectados hacia los botones.

Botón Pulsador	Pin Raspberry Pi
Tristeza	Pin 07
Sorpresa	Pin 08
Miedo	Pin 10
Enojo	Pin 11
Alegría	Pin 16
Asco	Pin 31

Tabla 5. Conexiones entre botones pulsadores y Raspberry Pi



Fig. 16. Vista Frontal del tablero conectado a Raspberry Pi

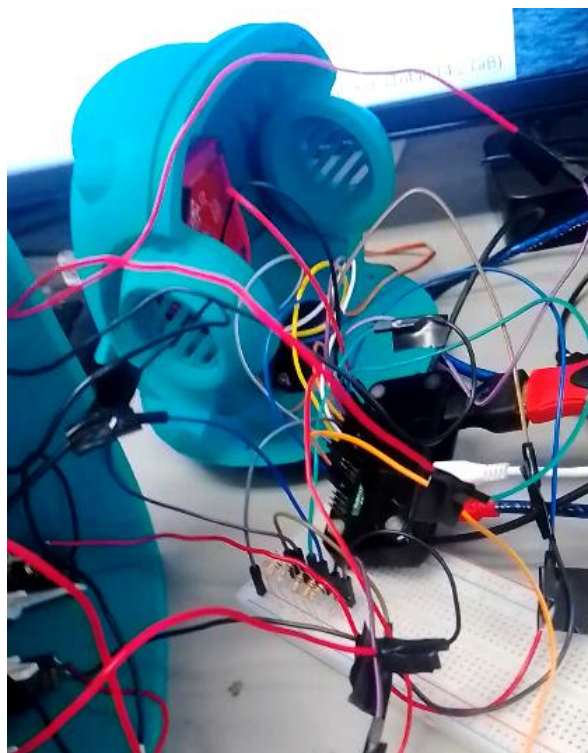


Fig. 17. Vista Trasera del tablero conectado a Raspberry Pi

El botón pulsador manda una señal a la Raspberry Pi conectando una corriente de 3.3v al pin C (Common) mediante una resistencia de 10k ohms y conectando el pin NO (Normally Open) del microswitch hacia el pin ya configurado de la Raspberry Pi. La figura 18 muestra un solo microswitch conectado a la Raspberry Pi.

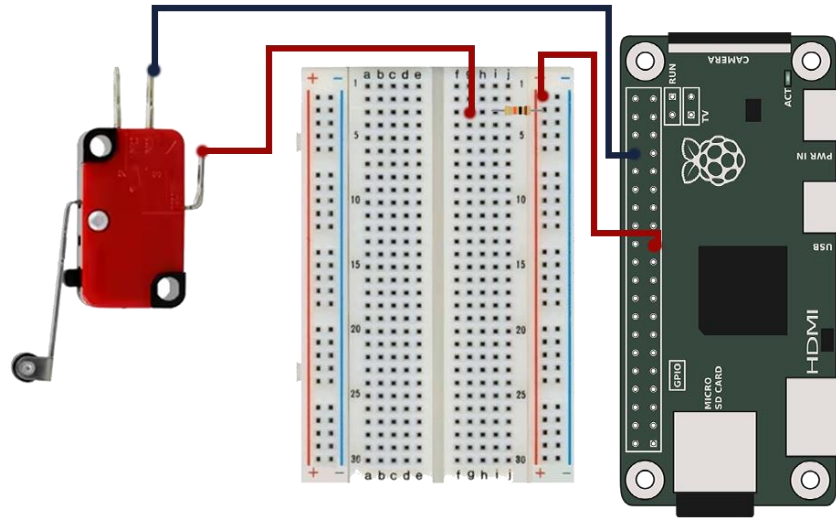


Fig. 18. Microswitch conectado a Raspberry Pi

4.4 Configuración del software

4.4.1 Raspberry Pi

El primer paso para usar una Raspberry Pi es instalar el sistema operativo (Raspberry Pi OS) en una tarjeta de memoria extraíble, en la figura 19 se muestra el programa usado para instalar el sistema operativo.

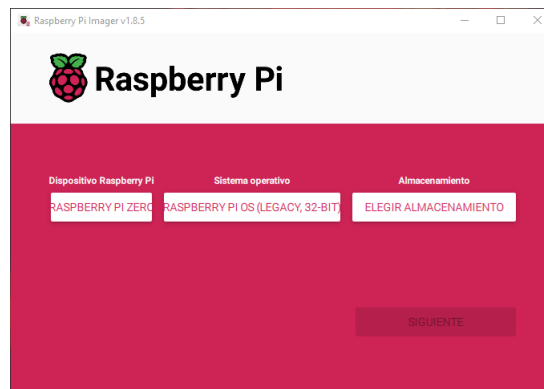


Fig. 19. Raspberry Pi Imager permite instalar el S.O. de manera sencilla.

4.4.2 Librerías para la pantalla TFT-LCD

Para que la pantalla TFT-LCD pueda usarse es necesario descargar algunas librerías y configurar algunas características en el arranque del sistema operativo.

Raspberry Pi OS es una distribución de Linux basada en Debian y por tanto cualquier cambio debe ser ejecutado desde la terminal.

Para descargar las librerías de la pantalla TFT-LCD se usan los siguientes comandos:

```
git clone https://github.com/goodtft/LCD-show.git
cd LCD-show/
sudo cp ./usr/tft9341-overlay.dtb /boot/overlays/tft9341.dtbo
```

Para configurar la pantalla en el arranque se modifica el archivo config:

```
sudo nano /boot/config.txt
dtparam=spi=on
dtoverlay=tft9341:rotate=270
gpio=13=op,dh
```

Después se modifica el archivo cmdline:

```
sudo nano /boot/cmdline.txt
fbcon=map:10 fbcon=Font:ProFont6x11
```

Para checar las características de la pantalla se usa el siguiente comando:

```
fbset -fb /dev/fb1 --info
```

Para poder mandar una imagen a la pantalla se instala otra librería:

```
sudo apt-get install fbi
```

El comando para mandar una imagen a la pantalla es:

```
sudo fbi -T 2 -d/dev/fb1 -noverbose -a Imagen.png
```

4.5 Desarrollo del código

El siguiente código es una función que lee el número del pin que es activado por el usuario al pulsar un botón y como resultado ejecuta un comando para mostrar la imagen correspondiente de la emoción.

```
def emocion(boton_pulsado)
    if(boton_pulsado == 4)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1
Tristeza.png")
        valor = 0
    elif(boton_pulsado == 14)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1
Sorpresa.png")
        valor = 0
    elif(boton_pulsado == 15)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1 Miedo.png")
        valor = 0
    elif(boton_pulsado == 17)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1 Enojo.png")
```

```

        valor = 0
    elif(boton_pulsado == 23)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1
Alegria.png")
        valor = 0
    elif(boton_pulsado == 6)
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1 Asco.png")
        valor = 0
    else:
        print("Ha ocurrido algo inesperado")
        os.system("sudo fbi -T 1 -d /dev/fb1 -noverbose -t 1 -1
Neutral.png")
        valor =1
    return valor

```

Se crea un arreglo con el número de los pines a usar por el programa para luego inicializarlos.

```

BUTTONS = [17, 6, 23, 15, 14, 4]
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
for button in BUTTONS:
    GPIO.setup(button, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)

```

El código siguiente va recorriendo el arreglo de los botones, cuando un botón es presionado la función muestra la imagen correspondiente, el programa finaliza al ingresar una interrupción (ctrl+c) desde teclado.

```

print("Ha iniciado el programa")
try:
    while True:
        for button in BUTTONS:
            if(GPIO.input(button) == GPIO.HIGH):
                print("Presionado el ", button)
                emocion(button)
            time.sleep(0.3)
except KeyboardInterrupt:
    print("Ha finalizado el programa")
    GPIO.cleanup()

```

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN

Un robot social debe de interactuar con los seres humanos, en este caso el enfoque que se busca es que el robot ayude a identificar las emociones básicas con niños del nivel primaria que presentan capacidades diferentes. Se requiere que la interacción se dé cuando el niño vea reflejada en el rostro del robot la emoción que ha identificado y seleccionado desde un tablero con botones. Cada uno de los botones tiene asignado un único color correspondiente a una emoción.

Este robot se ha diseñado desde cero, por lo cual a continuación se presenta el diseño estructural, que se ha pensado para que los niños puedan interactuar con él desde un ambiente controlado como puede ser el laboratorio SIRO o llevarlo a algún salón de escuela primaria.

5.1 Prueba de usabilidad

El robot se colocó en una mesa del laboratorio SIRO y se invitó libremente a los alumnos de la FCC a interactuar con el robot, la finalidad fue medir la usabilidad, como se muestra en la figura 20.



Fig. 20. Robot colocado en el laboratorio

Se aplicó una encuesta post-test tipo likert, que se muestra a continuación.

Encuesta de usabilidad para robot social

Indica en la escala como te pareció el uso del robot

<p>¿Qué tan amigable te pareció el robot? *</p> <p><input type="radio"/> Bastante</p> <p><input type="radio"/> Bueno</p> <p><input type="radio"/> Regular</p> <p><input type="radio"/> Poco</p> <p><input type="radio"/> Nada</p>	<p>¿El robot representa eficientemente las emociones básicas? *</p> <p><input type="radio"/> Bastante</p> <p><input type="radio"/> Bueno</p> <p><input type="radio"/> Regular</p> <p><input type="radio"/> Poco</p> <p><input type="radio"/> Nada</p>
<p>¿El uso del robot te pareció intuitivo? *</p> <p><input type="radio"/> Bastante</p> <p><input type="radio"/> Bueno</p> <p><input type="radio"/> Regular</p> <p><input type="radio"/> Poco</p> <p><input type="radio"/> Nada</p>	<p>¿Qué tan satisfecho quedaste con el uso del robot? *</p> <p><input type="radio"/> Bastante</p> <p><input type="radio"/> Bueno</p> <p><input type="radio"/> Regular</p> <p><input type="radio"/> Poco</p> <p><input type="radio"/> Nada</p>
<p>¿Consideras que las funciones que realiza el robot son suficientes para expresar las emociones básicas?</p> <p><input type="radio"/> Bastante</p> <p><input type="radio"/> Bueno</p> <p><input type="radio"/> Regular</p> <p><input type="radio"/> Poco</p> <p><input type="radio"/> Nada</p>	

Fig. 21. Encuesta tipo likert sobre usabilidad

El experimento consistió en que los usuarios se colocaran frente al robot y al pulsar un botón se muestre la emoción correspondiente, como se aprecia desde la figura 22 hasta la figura 27.



Fig. 22. Robot mostrando “alegría”

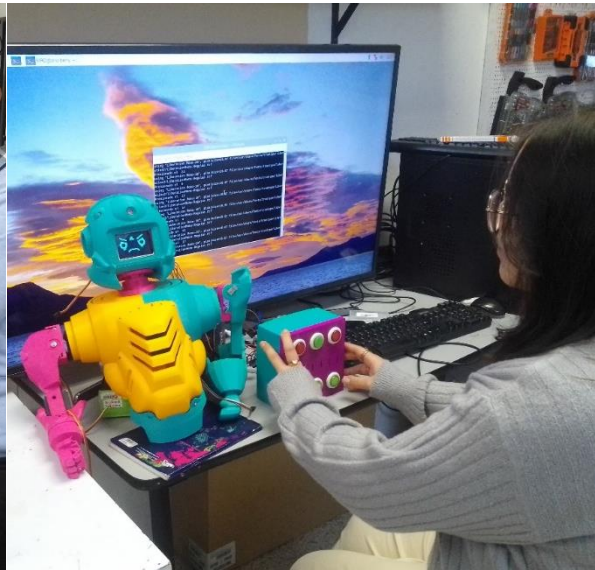


Fig. 23. Robot mostrando “enojo”



Fig. 24. Robot mostrando “tristeza”

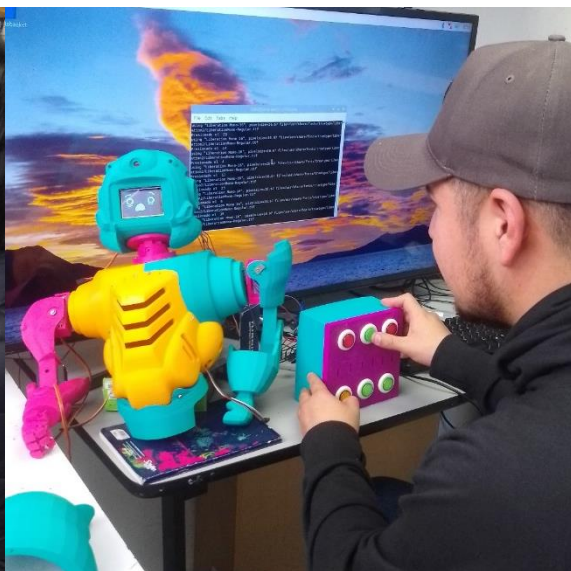


Fig. 25. Robot mostrando “miedo”

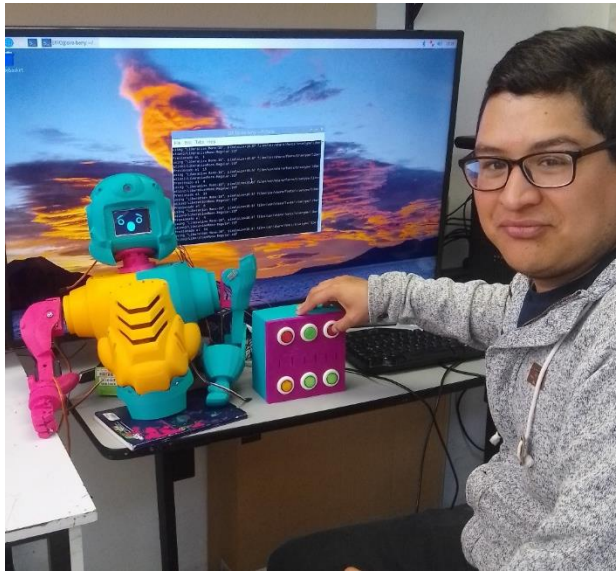


Fig. 26. Robot mostrando “sorpresa”

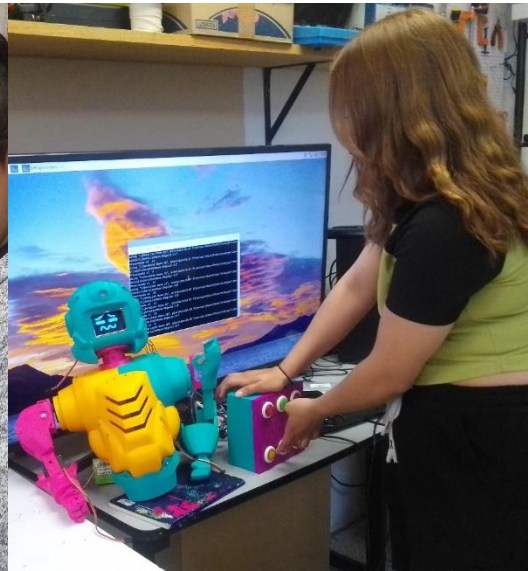


Fig. 27. Robot mostrando “asco”

Los resultados de la encuesta post-test se muestran en la figura 28.

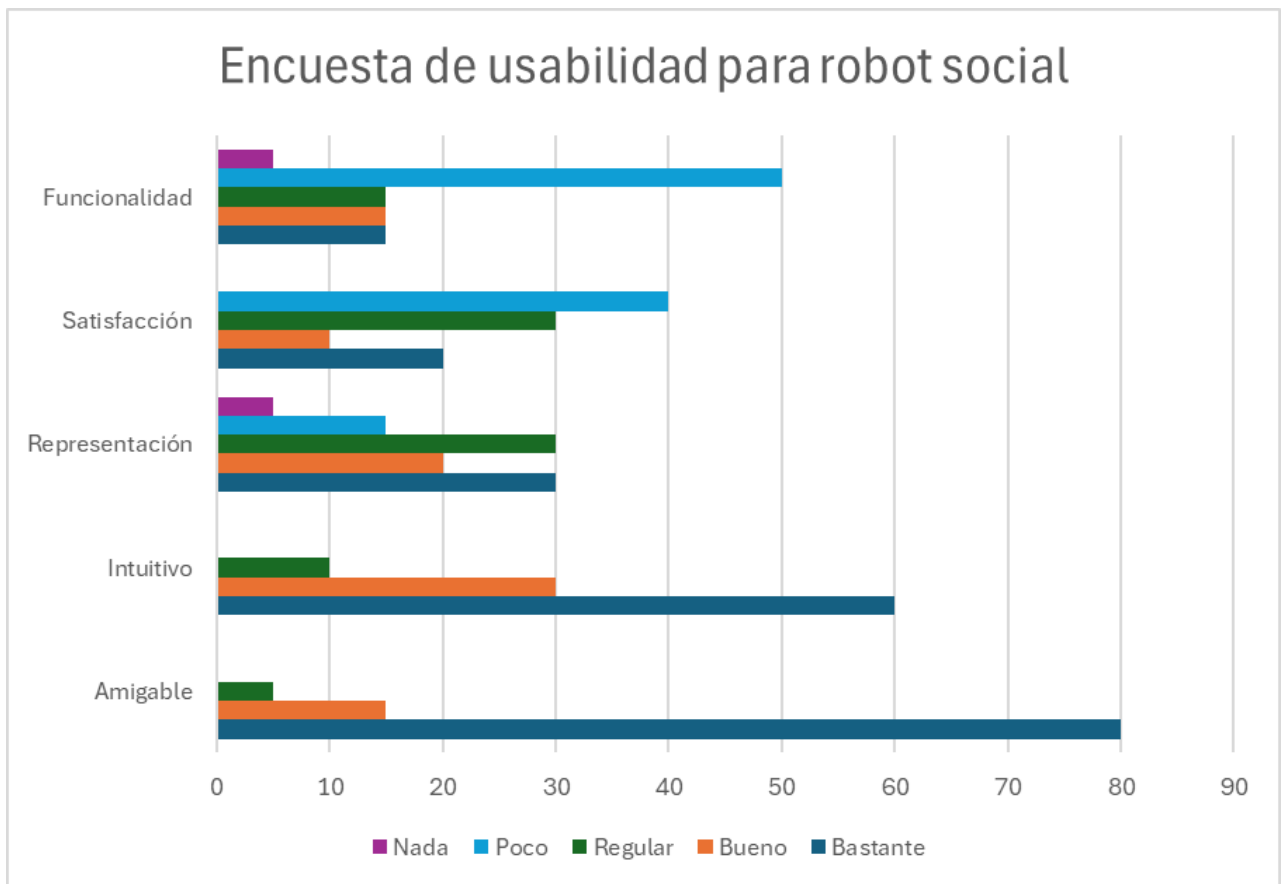


Fig. 28. Resultados de la encuesta likert sobre usabilidad

La interpretación sobre los resultados obtenidos sobre la encuesta de usabilidad son los siguientes:

Para la pregunta ¿Qué tan amigable te pareció el robot? el 80% de los usuarios lo consideró bastante amigable, los mismos usuarios consideraron 0% como nada amigable.

Para la pregunta ¿El uso del robot te pareció intuitivo? el 60% de los usuarios lo consideró bastante intuitivo, los mismos usuarios consideraron 0% como nada intuitivo.

Para la pregunta ¿El robot representa eficientemente las emociones básicas? el 30% de los usuarios consideró que las emociones se representaban bastante, los mismos usuarios consideraron 5% como nada representativo.

Para la pregunta ¿Qué tan satisfecho quedaste con el uso del robot? el 20% de los usuarios consideraron su uso como bastante bueno, el 40% de los mismos usuarios lo consideraron como poco satisfactorio.

Para la pregunta ¿Consideras que las funciones que realiza el robot son suficientes para expresar las emociones básicas? el 15% de los usuarios lo consideró bastante funcional, el 50% de los usuarios lo consideraron como poco funcional.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1 Resultados

Los resultados de la presente tesis son el desarrollo de un robot social, lo cual se ha mostrado en el capítulo cinco. En la figura 29 se presenta el diseño electrónico, estructural y lógico del robot, los cuáles se realizaron en el capítulo tres.

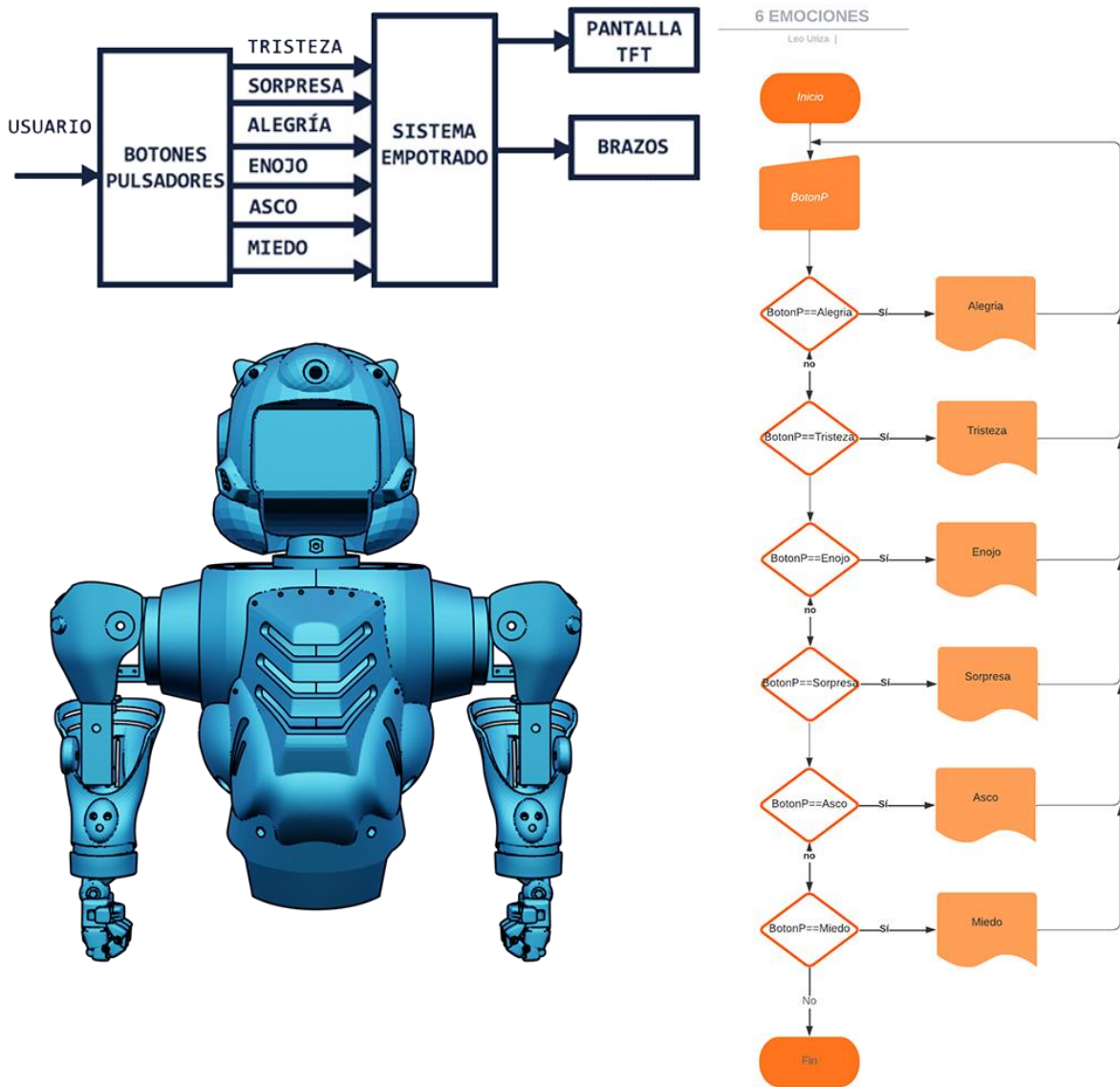


Fig. 29. Diseño electrónico, estructural y lógico del robot social

En la figura 30 se muestra una fotografía del robot manufacturado, armado y funcionando.



Fig. 30. Fotografía del robot desarrollado junto con el tablero.

Como se mostró en el capítulo cinco la información se recopiló mediante encuestas en línea tipo likert, los datos obtenidos se mostraron en gráficas como en la figura 3 y la figura 23.

6.2 Conclusiones

Se concluye que el robot tiene una apariencia amigable debido a que en la encuesta de usabilidad el 80% de los usuarios así lo consideraron, el robot es intuitivo de acuerdo a la información obtenida de la misma fuente con un 60%, una de las áreas de oportunidad identificada es la de la representación de las emociones básicas y la satisfacción de uso ya que en promedio los usuarios dieron una calificación no aprobatoria. Otra área de oportunidad son las funciones que realiza el robot ya que varios de los usuarios manifestaron un gran interés en que el robot pueda realizar una interacción visual, auditiva y kinestésica.

Al considerar que se ha podido realizar la parte experimental queda demostrado que la metodología evolutiva ha sido óptima para alcanzar el objetivo principal de este trabajo que fue “Desarrollar la estructura superior de un robot empleando una metodología evolutiva”,

cada una de las etapas se fue completando y retroalimentando dando la posibilidad de obtener este primer robot social el cual aún puede ser mejorado.

La experiencia de este trabajo ha sido la gestión de tiempos, aplicación de la metodología evolutiva, el desarrollo de habilidades autodidactas y una constante motivación personal por alcanzar esta meta.

6.3 Trabajo futuro

Se plantea mejorar la estructura, las funciones visuales, auditivas y kinestésicas. Diseñar y manufacturar la parte inferior del robot como se muestra en la figura 31. Realizar pruebas con usuarios de diferentes edades desde infantil hasta adultos mayores e incluir en el desarrollo del próximo prototipo a especialistas en inteligencia artificial, control, matemáticas, mecánica, psicología y pedagogía. Investigar sobre el aspecto cultural de los entornos y los sectores en los que se pueden utilizar los robots sociales.

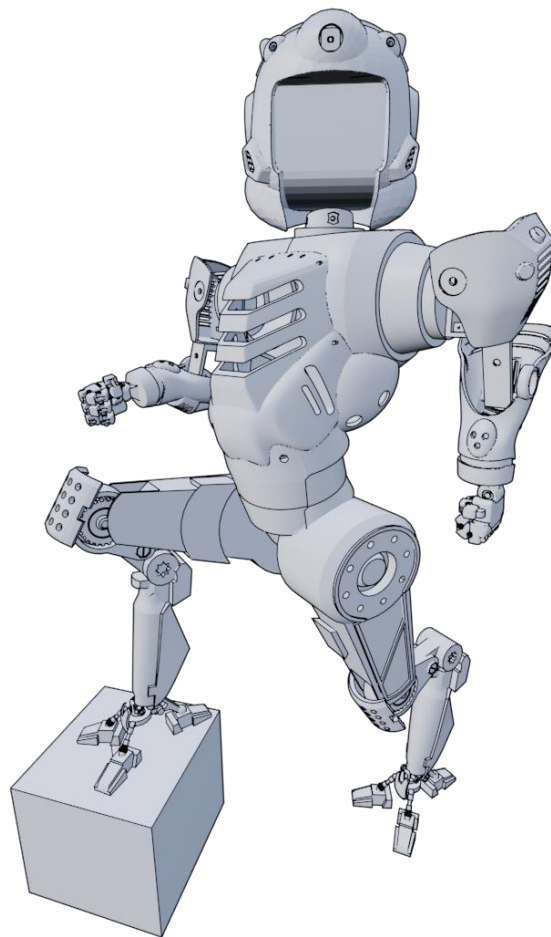


Fig. 31. Modelo CAD del robot con piernas.

REFERENCIAS

- [1] Mazzei, D., Zaraki, A., Lazzeri, N., & De Rossi, D. (2014b). Recognition and expression of emotions by a symbiotic android head. *IEEE-RAS International Conference On Humanoid Robots*, 134-139. <https://doi.org/10.1109/humanoids.2014.7041349>.
- [2] Zhang, Z., Beck, A., & Thalmann, N. M. (2015). Human-Like Behavior Generation Based on Head-Arms Model for Robot Tracking External Targets and Body Parts. *IEEE Transactions On Cybernetics*, 45(8), 1390-1400. <https://doi.org/10.1109/tyb.2014.2351416>.
- [3] Minegishi, T., & Osawa, H. (2020). Do You Move Unconsciously? Accuracy of Social Distance and Line of Sight Between a Virtual Robot Head and Humans. *IEEE International Conference On Robot And Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 503-508. <https://doi.org/10.1109/ro-man47096.2020.9223506>.
- [4] Wilkins, N., (2021). Chapter 1: The Basics of Robotics. What Beginners Need to Know about Robotic Process Automation, Mobile Robots, Artificial Intelligence, Machine Learning, Autonomous Vehicles, Speech Recognition, Drones, and Our Future.
- [5] Hegel F., Wrede B., Muhl C., Hielscher M. (2009). Understanding Social Robots Conference Paper.
- [6] J.M.K.C. Donev et al. (2024). Energy Education. <https://energyeducation.ca/es/>.
- [7] Saviat, (2020). Todo lo que necesitas saber antes de comprar un servomotor. <https://mecmod.com/todo-lo-que-necesitas-saber-antes-de-comprar-un-servomotor/>
- [8] Raspberry Pi Chile. (n.d.). ¿Qué es Raspberry? Raspberry Pi Chile. <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- [9] Raspberry Pi Foundation. (n.d.). Raspberry Pi documentation: Operating systems. <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>
- [10] Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. (n.d.). *TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)*. <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/630-tft-lcd-thin-film-transistor-liquid-crystal-display?tmpl=component&print=1.html>
- [11] Electricidad Básica. (n.d.). Botones pulsadores. Electricidad Básica. <https://electricidad-basica.com/dispositivos-electricos/botones-pulsadores/>
- [12] Python Software Foundation. (2024). Tutorial de Python, versión 3. <https://docs.python.org/es/3/tutorial/>
- [13] Quattrone P., Thrift N., Mclean C., Puyou F. (2013). *Imagining Organizations: Performative Imagery in Business and Beyond*. pp 104. Routledge
- [14] Zeid I., Sivasubramanian R. (2009) *CAD/CAM THEORY AND PRACTICE* Second Edition. pp. 5-8

- [15] Gibson I., Rosen D., Strucker B. (2015). Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing Second Edition. pp 1-2. Springer
- [16] Fundación Blender. (n.d.). Acerca de Blender [Manual de Blender]. Recuperado el [Agosto 2024], de https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/index.html
- [17] Breazeal C. (2002). Designing Sociable Robots. pp 51. The MIT Press.
- [18] Nittono H. (2022). The psychology of “kawaii” and its implications for human–robot interaction. *IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. <https://doi.org/10.1109/HRI53351.2022.9889591>
- [19] Fullard W., Reiling A. (2016). An Investigation of Lorenz's "Babyness". Wiley on behalf of the Society for Research in Child Development.
- [20] Meah, L. F. S., & Moore, R. K. (2020). The uncanny valley: A focus on misaligned cues. *IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. Department of Computer Science, University of Sheffield, United Kingdom.
- [21] Ekman, P. (1992). "An argument for basic emotions." *Cognition & Emotion*, 170-171.
- [22] Kang, D., & Yoon, K. (2018). Emotion-aware design image recommendation using color image scale. En *MMEDIA 2018: The Tenth International Conference on Advances in Multimedia*.
- [23] Cuvelier García, M., & Lozada González, M. (2022). El color y las emociones en infantes de edad preescolar. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 17(32). Universidad Autónoma del Estado de México. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477970602011>