



**Diseño y construcción de un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez  
a niños de 6 a 9 años**

Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Loza Matovelle, David César, M.Sc.





13 de agosto del 2021



### Document Information

Analyzed document	Trabajo_Titulacion_ZunigaPablo.pdf (D111181538)	
Submitted	8/11/2021 7:38:00 PM	
Submitted by		
Submitter email	dcloza@espe.edu.ec	 Firmado electrónicamente por: <b>DAVID CESAR          LOZA          MATOVELLE</b>
Similarity	1%	
Analysis address	dcloza.espe@analysis.orkund.com	

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis_Almeida_Espinoza.pdf</b>	 <b>3</b>
	Document Tesis_Almeida_Espinoza.pdf (D40842459)	
	Submitted by: dcloza@espe.edu.ec Receiver: dcloza.espe@analysis.orkund.com	
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11733/1/T-ESPE-053186.pdf">https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11733/1/T-ESPE-053186.pdf</a> Fetched: 10/4/2019 12:47:59 PM	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Tesis CARRERA MORALES.pdf</b>	 <b>3</b>
	Document Tesis CARRERA MORALES.pdf (D29010510)	
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/93922014-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica.html">https://docplayer.es/93922014-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica.html</a> Fetched: 10/21/2019 10:34:24 PM	 <b>1</b>

Firma:



**Ing. Loza Matovelle, David César, M.Sc.**

**DIRECTOR**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño y construcción de un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez a niños de 6 a 9 años**” fue realizado por el señor **Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 13 de agosto del 2021

Firma:



firmado electrónicamente por:  
DAVID CESAR  
LOZA  
MATOVELLE

.....  
**Ing. Loza Matovelle, David César, M.Sc.**

C. C. 1708661549



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

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 1721225892, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño y construcción de un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez a niños de 6 a 9 años** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 13 de agosto del 2021**

Firma:

**Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés**

C.C.: 1721225892



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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1721225892, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño y construcción de un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez a niños de 6 a 9 años** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 13 de agosto del 2021**

Firma

**Zúñiga Navarrete, Pablo Andrés**

C.C.: 1721225892

### **Dedicatoria**

El trabajo se lo dedico a mi familia, a mi novia, a mis amigos y a Dios.

A mi familia, en especial a mis padres, Marco y Vivi por su amor, apoyo y sacrificio que han invertido en hacer posibles los objetivos que me he trazado. A mis hermanos, David y Christian, y mi abuelito Franklin, por hacerme compañía en los momentos más difíciles y nunca dudar en ofrecerme una mano.

A mi novia, por ser mi motor y mi fuente de energía cuando el fracaso estaba presente.

A mis amigos y compañeros, por los momentos memorables que hemos compartido durante la universidad.

A Dios, porque en Él está depositada mi confianza para el futuro.

## **Agradecimiento**

Doy gracias a cada persona que ha sido parte de mi camino hasta ahora.

Gracias a mi familia, que desde pequeño buscaron que mis sueños se cumplan, me animaron y disciplinaron para que sea capaz de llegar lejos. Les agradezco por las cosas materiales, la vivienda y la alimentación, que nunca me faltaron; y les agradezco aún más por las cosas espirituales, el amor, la amistad y la fe.

Agradezco a mi novia, por su compañía y colaboración para que el trabajo y mi vida salgan adelante.

Agradezco a mis amigos y colegas, que adornan el pasar de los semestres con momentos increíbles. Sobre todo, agradezco a Roberto, Kevin y Ali por su amistad y compañía.

Agradezco a mis amigos de debate en tiempo de cuarentena, por permitirme aprender de muchos temas y muchas realidades.

Por último, y más importante, agradezco Dios, el creador de todo, a quién le debo todo lo que tengo y todo lo que puedo conseguir.

## Índice de contenidos

Resultados de Urkund .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de contenidos .....	8
Índice de tablas .....	12
Índice de figuras .....	14
Resumen .....	16
Abstract .....	17
Capítulo I Introducción .....	18
Planteamiento del problema .....	18
Antecedentes .....	19
Robótica Social y Educativa .....	19
Tableros electrónicos de ajedrez .....	22
Justificación e importancia .....	24
Alcance del proyecto .....	26
Objetivos .....	26
Objetivo general .....	26



Objetivos específicos .....	26
Estructura del documento .....	27
Capítulo II Marco teórico.....	29
Robótica Social .....	29
Robótica Educativa .....	35
Tecnología en la educación .....	35
Enseñanza del ajedrez .....	38
Software de enseñanza de ajedrez. ....	40
Tableros electrónicos de Ajedrez .....	40
Resumen .....	43
Capítulo III Diseño .....	45
Metodología Diseño Centrado en el Usuario (UCD) .....	45
Investigación del Usuario.....	46
Identificación de necesidades.....	47
Lista de métricas .....	48
Descripción de la arquitectura .....	51
División modular y descripción de alternativas .....	52
Módulo de Interacción.....	52
Módulo de Control.....	53
Módulo de la estructura mecánica .....	54
Módulo de enseñanza.....	55

Desarrollo modular y selección de alternativas.....	56
Módulo de Interacción.....	56
Módulo Control.....	60
Módulo de la Estructura Mecánica.....	65
Módulo de Enseñanza.....	76
Resumen.....	77
Capítulo IV Construcción y Pruebas de Funcionamiento.....	79
Construcción Mecánica.....	79
Implementación Electrónica.....	87
Desarrollo de Software.....	89
Programación en Arduino IDE.....	89
Programación en Python.....	91
Ensamblaje del prototipo final.....	95
Evaluación del sistema.....	96
Evaluación del ensamblaje.....	96
Evaluación del funcionamiento.....	98
Evaluación del proceso de interacción.....	98
Evaluación del usuario.....	99
Resumen.....	101
Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones.....	103
Conclusiones.....	103

Recomendaciones .....	105
Trabajos Futuros .....	107
Referencias bibliográficas.....	109
Anexos .....	115

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Necesidades presentadas por el usuario .....	47
<b>Tabla 2</b> Lista de Métricas .....	48
<b>Tabla 3</b> Matriz QFD.....	50
<b>Tabla 4</b> Descripción de la arquitectura.....	51
<b>Tabla 5</b> Submódulos y alternativas del módulo de interacción. ....	52
<b>Tabla 6</b> Submódulos y alternativas del módulo de control.....	54
<b>Tabla 7</b> Submódulos y alternativas del módulo de la estructura mecánica .....	55
<b>Tabla 8</b> Submódulos y alternativas del módulo de enseñanza. ....	56
<b>Tabla 9</b> Matriz de Ponderación de Criterios para el Submódulo Comunicación Verbal.....	57
<b>Tabla 10</b> Matriz de pares de evaluación de alternativas para cada criterio del submódulo de Comunicación Verbal. ....	57
<b>Tabla 11</b> Matriz de pares final para la selección de alternativas para el submódulo Comunicación Verbal.....	58
<b>Tabla 12</b> Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo Interacción. ....	59
<b>Tabla 13</b> Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo control. ....	60
<b>Tabla 14</b> Lista de elementos electrónicos.....	61
<b>Tabla 15</b> Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo de la estructura mecánica. ....	65
<b>Tabla 16</b> Lista de partes del robot social antropomórfico. ....	67
<b>Tabla 17</b> Propiedades mecánicas del material de la estructura mecánica .....	68
<b>Tabla 18</b> Datos necesarios para el cálculo del torque del mecanismo rotacional alrededor del cuello.....	71

<b>Tabla 19</b> Datos necesarios para el cálculo del torque del mecanismo rotacional alrededor de la cabeza.....	72
<b>Tabla 20</b> Datos de la carga máxima obtenidas en las piezas del robot. ....	73
<b>Tabla 21</b> Lista de partes del tablero de ajedrez. ....	76
<b>Tabla 22</b> Definición de los niveles aplicados en la metodología de enseñanza. ....	77
<b>Tabla 23</b> Distribución de colores para la capa inferior de las piezas. ....	84
<b>Tabla 24</b> Evaluación de funcionamiento de los elementos del sistema.....	98
<b>Tabla 25</b> Lista de movimientos y expresiones que el robot es capaz de realizar. ....	99
<b>Tabla 26</b> Encuesta de evaluación SUS.....	100
<b>Tabla 27</b> Resultado obtenido mediante la evaluación SUS. ....	101

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Robot interactivo iCat participando en el proceso de enseñanza de ajedrez. ....	20
<b>Figura 2</b> Robot NAR.....	21
<b>Figura 3</b> Robot Mashi .....	22
<b>Figura 4</b> Sistema de detección de piezas en estado abierto (izquierda) y en estado cerrado (derecha).....	23
<b>Figura 5</b> Módulo robótico multifuncional interactivo para la enseñanza del ajedrez. ....	24
<b>Figura 6</b> Robot NAO.....	32
<b>Figura 7</b> Gráfico correspondiente al valle inquietante encontrado en el grafico Familiaridad vs Porcentaje de similitud con el humano .....	33
<b>Figura 8</b> Robot social Sophia mostrando expresiones faciales. ....	35
<b>Figura 9</b> iCat utilizado para la enseñanza de ajedrez.....	38
<b>Figura 10</b> Tablero electrónico con identificación de piezas mediante bobinas de resonancia....	42
<b>Figura 11</b> Tablero electrónico con movimiento de piezas utilizando una matriz de electroimanes .....	43
<b>Figura 12</b> Diagrama de flujo adoptado por el proceso de diseño centrado en el usuario. ....	46
<b>Figura 13</b> Apariencia seleccionada de peón antropomórfico.....	60
<b>Figura 14</b> Simulación del diseño electrónico.....	62
<b>Figura 15</b> Diseño esquemático de las conexiones en los registros y sensores magnéticos, y conexiones en la placa controladora Arduino. ....	63
<b>Figura 16</b> Diseño de la placa PCB.....	64
<b>Figura 17</b> Vista exterior del ensamblaje de la estructura mecánica del robot social antropomórfico.....	65
<b>Figura 18</b> Descomposición de piezas del robot social antropomórfico. ....	66
<b>Figura 19</b> Descomposición de piezas del subensamblaje cara.....	67

<b>Figura 20</b> Disposición del servomotor y origen de coordenadas sobre la vista inferior del subensamble cabeza. ....	69
<b>Figura 21</b> Resultado del análisis de cargas estáticas sobre la pieza rostro. ....	73
<b>Figura 22</b> Capas del tablero de ajedrez ubicadas en un plano de sección media. ....	75
<b>Figura 23</b> Descomposición de piezas del tablero de ajedrez. ....	75
<b>Figura 24</b> Construcción mecánica el proceso de impresión 3D. ....	79
<b>Figura 25</b> Resultado del proceso de construcción del robot social mediante impresión 3D. ....	80
<b>Figura 26</b> Resultado del proceso de impresión 3D de las piezas de ajedrez. ....	80
<b>Figura 27</b> Proceso de lijado de las piezas impresas después del proceso de masillado. ....	81
<b>Figura 28</b> Proceso de pintado de las piezas lijadas. ....	81
<b>Figura 29</b> Apariencia final del robot social. ....	82
<b>Figura 30</b> Ensamblaje interno de los actuadores para los mecanismos de movimiento del robot social. ....	82
<b>Figura 31</b> Proceso de magnetización de las piezas de ajedrez. ....	83
<b>Figura 32</b> Resultado del proceso de corte laser para la estructura mecánica del tablero. ....	85
<b>Figura 33</b> Piezas de la estructura mecánica del tablero pintadas. ....	85
<b>Figura 34</b> Portada del tablero de ajedrez. ....	86
<b>Figura 35</b> Apariencia final del tablero electrónico de ajedrez. ....	87
<b>Figura 36</b> Implementación de la placa PCB. ....	87
<b>Figura 37</b> Proceso de soldadura manual. ....	88
<b>Figura 38</b> Diagrama de flujo de la programación en Arduino IDE. ....	90
<b>Figura 39</b> Pantalla de bienvenida de la HMI. ....	92
<b>Figura 40</b> Pantalla de control de la HMI. ....	92
<b>Figura 41</b> Diagrama de flujo de la programación en Python. ....	94
<b>Figura 42</b> Ensamblaje de la placa PCB a los elementos electrónicos. ....	95
<b>Figura 43</b> Prototipo final. ....	96

## Resumen

Actualmente la robótica social ha incursionado en los procesos de enseñanza mediante procesos de interacción que incentiven el interés y desarrollen un mejor entorno de aprendizaje. Por lo tanto, la robótica educativa requiere de sistemas de interacción que cuenten con características como la comunicación bidireccional, antropomorfismo y la capacidad de emitir emociones. Las herramientas desarrolladas bajo la robótica educativa suelen tener aplicaciones específicas para temas o asignaturas que suponen un amplio espectro de enseñanzas; como el ajedrez, que bajo su naturaleza lúdica permite la evaluación objetiva del aprendizaje y la proposición de retos constantes para los estudiantes.

El trabajo realizado presenta el diseño e implementación de un robot social que contenga sistemas de comunicación verbal y expresión de emociones, bajo el movimiento de párpados, cuello e iluminación facial; para crear un entorno de interacción con el usuario que mejore el proceso de enseñanza de los fundamentos del ajedrez. Los niños de edad temprana son capaces de sobrellevar los retos propuestos a través de un tablero electrónico de ajedrez conectado al robot. El tablero electrónico contempla los procesos de identificación de piezas mediante un sensor de color, detección de piezas e iluminación LED en las casillas del tablero mediante sensores magnéticos. El sistema es controlado mediante una interfaz de usuario (HMI) en el entorno Python que cuenta con la enseñanza y evaluación de los procesos de identificación, movimiento y ubicación inicial de las piezas de ajedrez.

- Palabras clave
  - **ROBÓTICA EDUCATIVA**
  - **INTERACCIÓN**
  - **TABLERO ELECTRÓNICO DE AJEDREZ**



## Abstract

Currently, social robotics has been developed in teaching processes through interaction methods that encourage interest and develop a better learning environment. Therefore, educational robotics requires interactive systems that have characteristics such as two-way communication, anthropomorphism and the ability to perform emotions. The tools developed under educational robotics usually have specific applications for topics or subjects that involve a wide spectrum of teachings; like chess, which under its playful nature allows the objective evaluation of learning it and the proposition of constant challenges for students.

The carried-out project presents the design and implementation of a social robot that contains systems of verbal communication and expression of emotions, under the movement of the eyelids, neck and facial lighting; to create an environment of interaction with the user that improves the teaching process of the fundamentals of chess. Children of an early age can cope with the proposed challenges through an electronic chess board connected to the robot. The electronic board contemplates the processes of identification of pieces by means of a color sensor, detection of pieces and LED lighting in the boxes of the board by means of magnetic sensors. The system is controlled through a user interface (HMI) in Python environment that has the teaching and evaluation of the processes of identification, movement and initial location of the chess pieces.

- Keywords
  - **EDUCATIONAL ROBOTICS**
  - **INTERACTION**
  - **ELECTRONIC CHESS BOARD**

## **Capítulo I**

### **Introducción**

El capítulo 1 parte en el planteamiento de la problemática para su resolución a partir de los objetivos y justificación; usando los antecedentes como punto de partida, para encontrar la dirección y el alcance del proyecto. El capítulo culmina con la estructura del documento con la organización de actividades, en capítulos, para el desarrollo del proyecto.

### **Planteamiento del problema**

La enseñanza requiere, además de un instructor, herramientas que agilicen el proceso de aprendizaje fomentando la práctica habitual y conservando el interés y la concentración de los estudiantes, por lo tanto, se requiere procesos de interacción con el usuario. Es necesario tener control sobre el grado de interacción humano-máquina que se puede ofrecer en las herramientas de aprendizaje. Entre una gran variedad de juegos y disciplinas lúdicas, que ofrecen un entorno útil de análisis y verificación de los procesos de interacción, se ha seleccionado el ajedrez como disciplina de enseñanza, debido a que ofrece ventajas de validación como tutores y bases de datos de alto nivel, desarrollo situado y controlable en un tablero portátil, variedad de campos de aprendizaje y la objetividad de los resultados.

Los procesos de interacción social actúan como un condicionante para los métodos de aprendizaje, por lo tanto, se requieren herramientas que realicen esa interacción. (Suárez Guerrero, 2003)

El problema implica la interacción humano-máquina en herramientas de aprendizaje, que conserve la atención de los estudiantes e incentive la práctica habitual. El problema se debe al poco desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías que logran impactar a los estudiantes dentro del proceso de enseñanza. Las tecnologías de

la información y comunicación apuntan a ciencias, como la robótica, incursionando en el ámbito educativo con resultados favorables, gracias a la interacción positiva que genera en el estudiante. (Aguilar, 2012)

### **Antecedentes**

El proyecto parte del ensamblaje de un sistema basado en la robótica social y educativa con el entorno lúdico del ajedrez mediante el uso de un sistema electrónico en el tablero de ajedrez. A continuación, se realiza un análisis de trabajos antecedentes nacionales e internacionales.

### ***Robótica Social y Educativa***

A partir del avance de la robótica educativa, se han desarrollado varias herramientas de aprendizaje que buscan facilitar el aprendizaje a través de la búsqueda de interacciones que permitan acercar al estudiante a innovadores y eficientes metodologías de aprendizaje. La robótica educativa se relaciona con otras ramas que han permitido el desarrollo de tecnologías que servirán para ensamblar herramientas de aprendizaje.

El origen de la robótica educativa se remonta al año 1975, en la Universidad Du Maine en Francia, se proponía el uso de las herramientas y las disciplinas de la robótica para su uso en fines educativos y pedagógicos. (Baron & Denis, 1994)

Los robots sociales han sido útiles como herramientas de enseñanza, enfocando el costo de desarrollo sobre un rostro con gestos interactivos, y la capacidad de acoplarse a diversas situaciones de interacción con los usuarios. Así, se han incluido los siguientes proyectos:

iCat, (Philips, s. f.) (Leite et al., s. f.) (van Breemen et al., 2005) un proyecto desarrollado por la empresa Philips, es una plataforma de investigación robótica, útil para estudiar la interacción social humano-robot. La interacción se basa en expresiones

faciales renderizadas mecánicamente, a través del movimiento de los ojos, cejas y boca. El proyecto iCat ha sido expuesto a diversas situaciones de robótica educativa, a través de juegos, emociones y animaciones. iCat ha servido como herramienta para la enseñanza de ajedrez, como se muestra en la Figura 1.

### Figura 1

*Robot interactivo iCat participando en el proceso de enseñanza de ajedrez.*



*Nota:* Tomado de iCat: an Affective Game Buddy Based on Anticipatory Mechanisms, (Leite et al., s. f.).

Tomando en cuenta la línea de investigación y desarrollo dentro del Ecuador, se han incluido los siguientes proyectos de robótica educativa desarrollados en el país, los cuales se enfocan en la enseñanza de niños de edades tempranas, y utilizan interacciones para obtener la atención de los usuarios.

- a. El Robot NAR (Espinoza, Almeida y Loza, 2018) consiste en el diseño y construcción de un robot social para la interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2-5 años, que responde a los principios de la robótica social, capaz de interactuar y comunicarse con los humanos, mediante expresiones (feliz, triste, enojado, dormido, sorprendido y duda), movimientos y sonidos. Posee una interfaz gráfica de control y 7

grados de libertad. El robot posee movimiento de ojos, cejas, cuello y boca; y contiene los dispositivos para la detección y seguimiento de rostros, así como la reproducción de sonidos. El robot incluye un módulo de enseñanza con remáticas de los números y colores para niños de 2 a 5 años.

## Figura 2

*Robot NAR*



*Nota:* Tomado de Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2-5 años, (Espinoza, Almeida y Loza, 2018)

- b. El Robot Mashí (Danev, Hamann, Fricke, Hollarek y Paillacho, 2018) es un Robot de Asistencia Multipropósito para el estudio de la Interacción Social Humano-Robot. Mide 1,50 cm y pesa 30 kilogramos. El robot muestra un conjunto de expresiones faciales animadas evaluadas, como se muestra en la Figura 3, con el fin de contribuir a una interacción humano-robot de manera natural.

### Figura 3

#### *Robot Mashii*



*Nota:* Tomado de Los robots tienden puentes con los humanos, (El Telégrafo, 2016)

#### ***Tableros electrónicos de ajedrez***

En el área del desarrollo de tableros electrónicos hay grandes avances en proyectos internacionales desde el año 1998, desde el el proyecto “*Device for detecting playing pieces on a board*” (Bulsink, 1998) que presenta la invención de un tablero y conjunto de piezas de ajedrez codificadas para la identificación a partir del uso de bobinas de resonancia en una matriz para cada una de las casillas, distribuidas en bobinas de transmisión y recepción, en las piezas como en el tablero respectivamente.

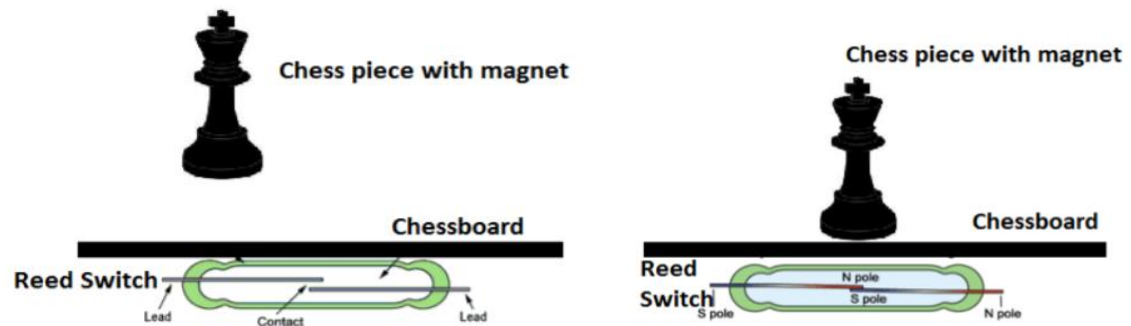
En el año 2020, se presenta el proyecto Regium, un tablero electrónico automático de ajedrez, diseñado por la empresa HighTech Dynamics, Inc que utiliza energía electromagnética para realizar la detección, identificación y movimiento de piezas automáticamente en cada una de las casillas.

Se han desarrollado proyectos que buscan la reducción de costos al momento de diseñar los tableros electrónicos como el proyecto “*Low Cost Electronic Chess Set for Chess Tournament*” (Mahmood et al., 2011), en el cuál, Los autores proponen un tablero de ajedrez electrónico con la capacidad de detección de piezas utilizando un

sistema de bajo costo basado en piezas de ajedrez con magnetos e interruptores de tipo reed, como se muestra en la Figura 4, con un controlador que envía los datos a una interfaz de usuario gráfica computacional.

#### Figura 4

*Sistema de detección de piezas en estado abierto (izquierda) y en estado cerrado (derecha).*



*Nota:* Tomado de “*Low Cost Electronic Chess Set for Chess Tournament*” (Mahmood et al., 2011).

En los trabajos nacionales, se ha encontrado avances destacados en el desarrollo de tableros electrónicos de ajedrez, como el presentado en el proyecto de titulación: “Diseño e implementación de un módulo robótico multifuncional interactivo para la enseñanza del ajedrez en la empresa INVESPOL Cía. Ltda.” (Carrera, Morales y Tobar, 2017). El trabajo presenta el diseño y la implementación de un sistema automatizado de ajedrez enfocado en la enseñanza del juego con la mayor interactividad posible. El sistema consiste un módulo robótico de configuración cartesiana con interfaz visual retro proyectada e interactiva mediante gestos multitáctiles, como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Módulo robótico multifuncional interactivo para la enseñanza del ajedrez.*



*Nota:* Tomado de Diseño e implementación de un módulo robótico multifuncional interactivo para la enseñanza del ajedrez en la empresa INVESPOL Cía. Ltda. (Carrera, Morales y Tobar, 2017).

**Justificación e importancia**

El ajedrez es un juego que despierta la creatividad y razonamiento, poniendo en funcionamiento los dos hemisferios del cerebro, como se comprobó en un estudio realizado en Alemania, titulado “Mechanisms and neural basis of object and pattern recognition: a study with chess experts” (Bilalic, Langner, Erb y Grodd, 2010). El ajedrez es un juego que permite focalizar la energía de niños en la concentración, como lo declara Michael Wang, un jugador de 17 años de ajedrez en Estados Unidos (Educación 3.0, 2018). El artículo “Ajedrez educativo: todo lo que hay que saber” (Muñoz, s.f.) cataloga al ajedrez como una herramienta excelente de aprendizaje. Además, el ajedrez provee un conjunto de diversas actividades de aprendizaje, que



mantiene la concentración de los niños, sin volverse rutinario y aburrido. Más bien, ofrece logros que estimulan satisfactoriamente, y que son capaces de cuantificar el desarrollo y mejora en el dominio del juego. El proyecto apunta a desarrollar herramientas de aprendizaje que sean útiles en disciplinas lúdicas que se relacionen con el desarrollo cognitivo del estudiante. Es por esto por lo que se decidió utilizar al ajedrez como el área de enseñanza recreativa para la cual el robot sirva como herramienta, que desafíe al estudiante en nuevos retos cognitivos, y que conserve la visión del juego.

Las nuevas tendencias del ámbito educativo apuntan al uso de tecnologías de la información y comunicación como un arma útil para fomentar el aprendizaje en diversas áreas de conocimiento. (Dirección Nacional de Tecnologías de la Información y Educación, 2015) Así, es posible utilizar la robótica como herramienta de refuerzo en la educación que capte la atención y ofrezca metodologías eficientes, a partir de la interacción hombre-máquina y ofrezca soluciones de uso frecuente en la enseñanza.

El proyecto plantea utilizar los avances tecnológicos en el ámbito de la enseñanza. La robótica social interactiva como una herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de una disciplina de desarrollo cognitivo, como es el ajedrez, y que verifique resultados favorables en el estudiante.

Por lo tanto, se plantea el desarrollo de un robot de enseñanza de ajedrez, que utilice expresiones faciales y comunicación verbal que facilite el aprendizaje. El robot se plantea como una herramienta de refuerzo interactiva y práctica, a las enseñanzas proporcionadas por instructores; y que permita obtener resultados de aprendizaje a corto, mediano y largo plazo.

## **Alcance del proyecto**

El proyecto consiste en la integración de un robot social interactivo de tipo peón humanoide que sea capaz de hablar y mostrar expresiones interactivas. Las expresiones serán realizadas utilizando mecanismos de movimiento de cabeza y pestañas, e interacción visual y auditiva. Las expresiones facilitan la interacción para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, de forma que el estudiante capte de mejor manera la enseñanza del robot en función de aprendizaje por niveles, descubrimiento y resolución de problemas.

El robot humanoide se acoplará a un tablero electrónico que constará de subsistemas de detección e identificación de las piezas. Los datos obtenidos de la identificación de datos se ingresarán al software programado en donde se verificará que el estudiante este cumpliendo con los problemas propuestos, y se podrá responder de manera auditiva para la evaluación del nivel presentado. Por medio de la identificación se podrá aplicar los mecanismos de enseñanza de movimiento de piezas, ubicación, y los fundamentos de las técnicas y estrategias de juego. El sistema de identificación de piezas estará acompañado de interacción mediante luces en el tablero.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

- Diseñar y construir un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez a niños de 6 a 9 años.

### ***Objetivos específicos***

- Establecer los requerimientos de usuario basado en las necesidades de aprendizaje de ajedrez.

- Realizar el diseño de la estructura mecánica antropomorfizada con los sistemas de interacción social con el usuario.
- Establecer el diseño del tablero de ajedrez que disponga de un sistema de detección de las piezas en cada casilla y la identificación de la pieza seleccionada.
- Construir el robot utilizando parámetros de diseño y selección de materiales, ensamblando los actuadores, instrumentación electrónica y el tablero a la estructura mecánica.
- Establecer la metodología de enseñanza por niveles dentro de la programación del robot basado en los requerimientos del usuario.
- Determinar pruebas de funcionamiento y evaluación por parte del usuario.

### **Estructura del documento**

La estructura del documento dispone de cinco capítulos que describirán el desarrollo del robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez y toda la información relacionada y utilizada para el diseño.

En el capítulo 1 se muestran las generalidades del proyecto, con las cuales se presenta el resumen del proyecto, la problemática y justificación, sus objetivos y alcance; y los antecedentes que precedieron al proyecto

El capítulo 2 presenta el estado del arte del proyecto, partiendo del ajedrez, sus métodos de enseñanza y tableros electrónicos; y mostrando la robótica social y educativa que concierne al desarrollo del proyecto.

El capítulo 3 es un análisis del diseño realizado, tanto diseño mecánico, como diseño electrónico fundamentado en los requerimientos y especificaciones presentadas por el usuario descrito.

En el capítulo 4 se muestra el proceso de construcción del robot en su aspecto mecánico como electrónico. Una vez ensamblada la construcción se incluye el proceso de programación y culmina con pruebas de funcionamiento del sistema.

Finalmente, en el capítulo 5 se detalla las conclusiones y recomendaciones obtenidas del trabajo realizado durante el desarrollo del proyecto.

## **Capítulo II**

### **Marco teórico**

En el capítulo 2 se presenta la investigación realizada acerca de la robótica social, la robótica educativa, y los tópicos concernientes al ajedrez.

El presente capítulo parte de la exploración de la robótica social, en donde se definen los procesos para la interacción humano-robot, basado en características del robot, entre ellas la comunicación y el antropomorfismo. La aplicación de la robótica social se refleja en la robótica educativa, en donde se explicarán las corrientes de la robótica en la educación con su respectivo campo de enseñanza, los resultados conseguidos y los tipos de robot educativos de cada corriente. Finalmente se profundiza en los tópicos del ajedrez, en el cual se analizarán los procesos de enseñanza que han sido utilizados en niños y los diversos programas de software utilizados para la enseñanza. Se describen los tableros electrónicos de ajedrez con sus características generales.

#### **Robótica Social**

Juntamente al desarrollo y evolución que se ha producido en el campo de la robótica, han evolucionado las aplicaciones que estos poseen. Los robots se han vuelto capaces de desempeñar tareas dentro de la sociedad. Los robots actualmente forman parte de los sectores agrícola, textil, industrial, constructor, alimenticio, educativo, entre otros; con la capacidad de reemplazar al ser humano para evitar tareas peligrosas, pesadas, repetitivas y costosas; y procurando mejorarlas en tiempo de producción, confiabilidad, repetibilidad y precisión.

Dentro de los diversos campos de aplicación de la robótica, es destacable la robótica social. La robótica social es una disciplina que permite integrar comportamientos

empáticos hacia los humanos mediante el uso de interacciones y características antropomórficas o zoomórficas físicas. (Terrero, 2018)

El centro de atención de la robótica social es la interacción con el ser humano, por lo tanto, se busca interactuar con el usuario conservando los parámetros de comportamiento social. Actualmente la robótica social postula el objetivo de integrarse en la vida cotidiana de las personas y colaborar con ellas. (Abad et al., 2017)

La robótica social es el estudio de los robots que son capaces de interactuar y comunicarse entre ellos, con los seres humanos y con el medio ambiente, dentro de las estructuras social y cultural en las cuales se desenvuelven.

Entre las principales áreas de investigación en el campo de la robótica social tenemos:

- Robótica de asistencia social. – se enfoca en brindar servicios médicos y de asistencia para las necesidades básicas y acciones cotidianas como dar de comer o limpiar; esta clase de robots se enfoca principalmente en personas vulnerables como adultos mayores, niños pequeños o personas con enfermedades o discapacidades que limitan su destreza.
- Robótica de compañía. – Está orientada para realizar servicios de ayuda psicológica y en las áreas de salud para personas vulnerables al igual que la robótica de asistencia social, salvo que se enfoca principalmente en la compañía, comunicación y monitoreo del estado de los pacientes.
- Robótica de interacción. – Se enfoca en generar interacción entre el usuario y el robot, de modo que tanto el robot pueda reaccionar a las acciones que el humano realiza, y el humano pueda comprender las formas de comunicación del robot.

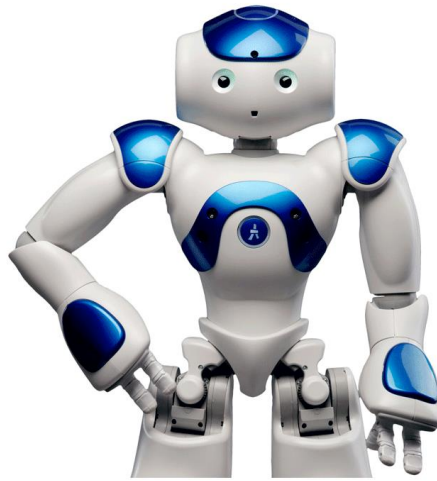
La robótica social está dirigida principalmente a algunas funciones de interacción con los humanos: entretenimiento, educación, vigilancia, organizador personal,

asistencia de tareas domésticas, compañía, en ámbitos comerciales, entre otras. Para cumplir las funciones requiere ciertas características para efectuar el proceso de interacción.

a. Interacción Bidireccional o Comunicación

Los robots socialmente interactivos se describen como aquellos robots que pertenecen al entorno social pero que cumplen un conjunto de cualidades y características que se conocen como interacción cara a cara, es decir, que el robot contiene gestos y formas de comunicación pertenecientes al ser humano; como la expresión de emociones, reconocimiento de otros agentes, comunicación y diálogo de alto nivel, establecimiento de relaciones sociales y la utilización de señales naturales del ser humano como gestos, parpadeos y movimientos particulares. El enfoque de los robots socialmente interactivos es generar la misma comodidad en los seres humanos interactuando con una máquina como lo haría con otros seres humanos. Los robots socialmente interactivos tienen aplicaciones terapéuticas, lúdicas y educativas. (Fong et al., 2003).

Entre los principales robots socialmente interactivo se puede mencionar al robot NAO (Robotrónica, 2015), desarrollado en la empresa Softbank Robotics. Es un robot con la capacidad de realizar actividades de interacción de forma natural con los humanos. Es capaz de escuchar y entender, hablar, y observar el medio y realizar acciones que se le han programado. Posee una multitud de actividades y movimientos realizables que incluyen jugar fútbol, dar clases e incluso realizar complejas coreografías.

**Figura 6***Robot NAO*

*Nota:* Tomado de NAO, Los robots del futuro son ya una realidad, (Robotrónica, 2015).

**b. Antropomorfismo**

Los robots sociales que utilizan características antropomórficas humanoides son capaces de interactuar y comunicarse con las personas mediante normas de conducta sociales. (Ruzafa, 2016) Su capacidad de utilizar expresiones faciales para mostrar emociones mejora la aceptación y producen mejores resultados dentro de la interacción con el usuario. Un robot social utiliza estas características juntamente a la comunicación, visión y movimiento. Por lo tanto, es necesario el uso de agentes para el desarrollo de un robot social: un agente de reconocimiento que utilice procesamiento de imágenes de una cámara, un agente de reconocimiento y procesamiento de voz con un micrófono y reproducción de texto mediante un altavoz, un agente de mapeo y movimiento autónomo, codificación de gestos faciales, movimiento de brazos y comunicación entre estos agentes.

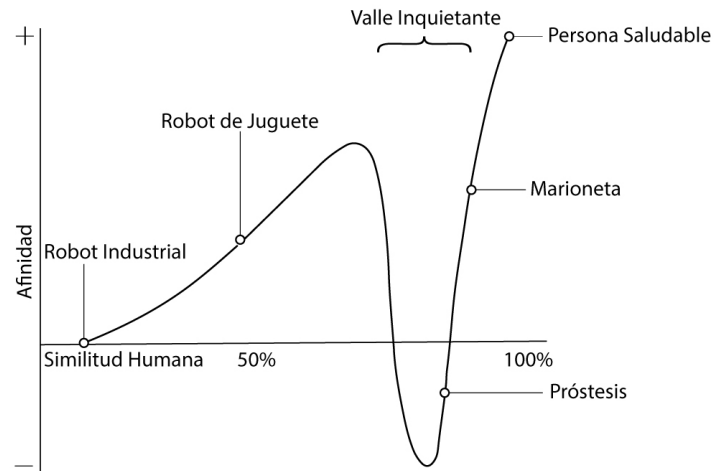
El porcentaje de antropomorfismo del robot es capaz de generar mayor interés y familiaridad de parte del usuario, evitando el valle inquietante, un concepto que



corresponde al rango entre aproximadamente 75% y 85% de similitud física con el ser humano, que repele el interés y el agrado de los usuarios. (Mori et al., 2012)

### Figura 7

Gráfico correspondiente al valle inquietante encontrado en el gráfico Familiaridad vs Porcentaje de similitud con el humano



Nota: Tomado y traducido de "The uncanny valley", (Mori et al., 2012)

Un robot social con los agentes de detección y producción de expresiones faciales con el objetivo de mejorar la interacción es el robot iCat. El robot de interfaz de usuario desarrollado por la empresa Philips Electronics, es parte de una plataforma utilizada para la investigación de la robótica social y las interacciones humano-robot. El robot iCat es un robot zoomórfico, que es capaz de producir expresiones faciales, hablar, observar y escuchar; y ha sido utilizado en aplicaciones como responder a estímulos, encender luces, asistente personal, jugador de ajedrez e incluso ha sido utilizado dentro del ámbito educativo.

#### c. Emociones sociales

Las emociones sociales son parte de la interacción humana, son realizadas a través de comportamientos no verbales que reflejan el estado en la conducta y emoción de una persona. Entre las emociones sociales no verbales encontramos, gestos

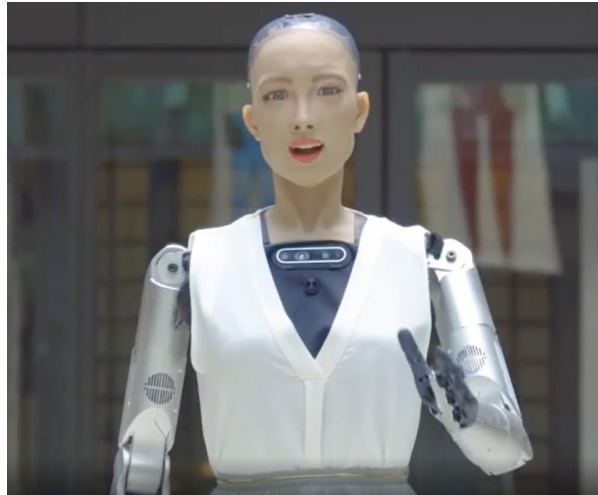
faciales, corporales y acústicos; que nacen de las experiencias sociales en la interacción y dependen del contexto social (Montañés & Iñiguez, 2002); suelen ser fácilmente perceptibles debido a las habilidades sociales que los humanos, incluyendo a los niños, desarrollan (Oros y Fontana Nalesso, 2015).

A partir de la conducta social y las emociones, se desarrolla la empatía, un concepto que vincula las emociones de dos sujetos dentro de una interacción, siendo capaz de validar y compartir una emoción. La empatía es propia del ser humano, y es capaz de desarrollarse en los niños cuando perciben expresiones faciales, corporales o acústicos que denotan la emoción de otro sujeto. (Garaigordobil y De Galdeano, 2006) La empatía mejora los procesos de interacción útiles en los procesos de educación infantil. (Fernández-Castillo y Ubago, 2016)

En la robótica social se busca generar empatía desde el niño hacia el robot para vincularse emocionalmente y elevar los procesos de interacción. El medio por el cual se consigue el objetivo de la interacción emocional entre niños y robots es dotar a los robots de gestos faciales, corporales y acústicos. Los robots sociales son capaces de realizar gesticulaciones que denoten estados de ánimo. En la Figura 8, se muestra el robot Sophia (Hanson Robotics, s. f.) que posee la capacidad de realizar expresiones faciales, expresiones corporales y comunicación verbal.

**Figura 8**

*Robot social Sophia mostrando expresiones faciales.*



*Nota:* Tomado de *Sophia*, (Hanson Robotics, s. f.)

**Robótica Educativa**

El desarrollo en el campo de la robótica en los años 80 dirigió la investigación hacia el uso de robots interactuando con niños en ambientes educativos, el éxito obtenido fomentó la creación de kits robóticos utilizados con niños como herramienta de enseñanza y aprendizaje. (Papert, 1980) Los resultados, que definían la elevación del nivel de concentración, interés y agrado de los alumnos infantiles; incentivaron el crecimiento del uso de robots en ambientes educativos, de donde surgió la robótica educativa.

***Tecnología en la educación***

El desarrollo de la robótica ha elevado el interés de su uso en diferentes áreas. Cuando la robótica llegó a la educación, se elevaron las expectativas de los resultados que podía obtener. La robótica educativa se presentó como una aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) presentando una herramienta a la tradicional enseñanza profesor-estudiante; y sofisticando el proceso de enseñanza-

aprendizaje convencional. (Barrera, 2014) Entonces, se originó la Ingeniería Educativa que apuntaba hacia enfoques didácticos usando componentes tecnológicos.

Así, nació la robótica educativa con tendencias lúdicas que busca la construcción de aprendizaje basado en la experiencia, manipulación e interacción. Lo que convierte a la robótica en una herramienta que facilita y potencia el aprendizaje fortaleciendo las enseñanzas de un docente. Su potencial se expandió a robots de toda clase de formas y aplicaciones educativas, sobre todo aquellas que se enfocaban en la enseñanza de los fundamentos de la robótica. Aquí nos podemos encontrar con robots enfocados en la enseñanza de programación, automatización y teorías de control.

La robótica educativa tiene principalmente dos corrientes que guían el entorno de aprendizaje.

a. Corrientes de la robótica constructiva

La primera corriente de la robótica educativa corresponde al proceso de construcción y ensamblaje del robot de modo que se ejerza el aprendizaje. La corriente constructiva se enfoca en el desarrollo de conceptos y habilidades motoras, mediante la comprensión de los elementos que componen al robot, la finalidad y las características de cada una de ellas; y el uso de habilidades motoras para el proceso de ensamblaje.

Los resultados que la robótica constructiva producía en la educación requerían de comprobación. Por lo cual investigadores demostraron que, según los reportes directos de maestros, los resultados son positivos en la implementación de la robótica con iniciativas individuales en la enseñanza. (Caci et al., 2003) Dos experimentos (Owens et al., 2008; Whittier y Robinson, 2007) pertenecientes a una revisión sistemática de investigaciones sobre la robótica educativa (Benitti, 2012) demostraron que la robótica es útil para enseñar y desarrollar habilidades en áreas que no están relacionadas estrechamente en el campo de la robótica; y presentan una prometedora línea de investigación. A pesar de que estos experimentos presentaron resultados

positivos, también se encontraron casos en donde el robot no variaba los resultados de aprendizaje.

La mayoría de los artículos analizados en esta revisión sistemática estaban ligados al uso de kits LEGO (The Lego Group, s. f.) enfocados a la robótica educativa. Los kits LEGO como Mindstorms o NXT, son una variación de los artículos LEGO, donde, además de un conjunto de piezas armables e intercambiables que dan cabida a la libre creatividad, se encuentran artículos electrónicos y mecatrónicos, que permiten, de forma lúdica, que el robot LEGO armado sea capaz de realizar acciones según la programación ingresada o en base a control remoto.

#### b. Corrientes de la robótica interactiva

Se ha determinado un enfoque de enseñanza en la robótica mediante interacción con el usuario. (Barrera, 2014) El autor enfatiza la importancia de la interacción social en la praxis educativa para la construcción de saberes por parte de los estudiantes. Pero es necesario la acción continua de prácticas de interacción con la robótica educativa para convertirla en una constructora de saberes, y no en un difusor de la atención. Por lo cual el enfoque de la robótica educativa de interacción debe ser la enseñanza a largo plazo, para que el estudiante se familiarice y complete el aprendizaje satisfactoriamente.

La ventaja que la interacción social presenta en la robótica educativa se fundamenta en provocar, lo que el autor llama, tensión emotiva en los estudiantes, que es un sinónimo del cambio de la actitud del estudiante influenciando la disposición a aprender; lo que puede concluir en actitud para enfrentar problemas mediante la invención y creatividad.

El robot iCat, como representante de la corriente interactiva, ha demostrado generar gran influencia mediante las emociones y el comportamiento expresivo del robot social interactivo utilizado en juegos educativos. (Leite et al., s. f.) El objetivo que

se plantea en el artículo es encontrar la forma de ayudar a los usuarios a comprender mejor el juego, en este caso el iCat será implementado junto al juego de ajedrez. La investigación demuestra como mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje cuando se utiliza la robótica interactiva en la educación de materias lúdicas como es el ajedrez.

### **Figura 9**

*iCat utilizado para la enseñanza de ajedrez*



*Nota: Tomado de iCat, the Affective Chess Player, (Leite et al., s/f).*

### **Enseñanza del ajedrez**

“El ajedrez promueve el logro de la independencia cognitiva, manifestándose en una adecuada representación del problema y como proceso mental activo en la búsqueda de soluciones. El ajedrez, como un juego recreativo, es parte de la cultura de la humanidad y se reconoce como deporte, arte, además de tener elementos de ciencia.” (Díaz-Rodríguez, 2011)

Es prioridad utilizar la correcta metodología para alcanzar los objetivos sobre la enseñanza del ajedrez. Para esto se debe mantener la visión lúdica del ajedrez. “El ajedrez es un juego. Todo intento de enseñarlo no debe olvidar este aspecto. Cuanto más disfruten los alumnos del juego más resultados dará su enseñanza.” (Soutullo, 2000)

Los objetivos hacia los cuales apunta la enseñanza del ajedrez sobre los alumnos establecen las pautas para evaluar la metodología que se utilice.

- Captar y mantener la atención y concentración sobre el juego mediante el uso de actividades satisfactorias.
- Potenciar la memoria a través del aprendizaje de estrategias y variantes.
- Producir el razonamiento mediante la comprensión del objetivo del juego.
- Desarrollar la creatividad del alumno utilizando la lógica para buscar soluciones a los retos planteados en el juego.

Los objetivos son alcanzables cuando se utiliza los medios correctos, los cuales deben estar presentes en cualquier forma de enseñanza que se pretenda usar. El autor Miguel Soutullo menciona los siguientes medios de aprendizaje en su libro “El ajedrez en la escuela, hacia una nueva forma de enseñar el ajedrez en las escuelas”.

- Aprendizaje por descubrimiento. Se utiliza las posibilidades de descubrimiento que presenta el juego durante la práctica, para lograr mejorar los resultados de aprendizaje. Se puede conseguir potenciar la confianza y el espíritu crítico del alumno, fomenta la curiosidad y ayuda a mantener la atención y la concentración en el juego.
- Aprendizaje por niveles. Se busca que los alumnos progresen y no se estancuen en las actividades realizadas, con lo que se consigue favorecer a la confianza y potenciar la perspectiva de los alumnos hacia nuevos aprendizajes. Para el aprendizaje por niveles se utiliza diferencias de nivel que partan desde ejercicios fáciles hacia estrategias complejas, precisando el cumplimiento de cada uno para su avance.
- La resolución de problemas. El medio de resolución de problemas propone al ajedrez como un conjunto de problemas para los cuales es

necesario proponer soluciones. Cada partida presentará diferentes problemas que van a requerir de la lógica, razonamiento y creatividad del alumno para superarlas. El alumno va a presentar avances en su elaboración de estrategias, análisis, evaluación y ejecución; e irán mejorando durante cada ejercicio o partida.

### ***Software de enseñanza de ajedrez.***

El uso de programas de software durante el proceso de enseñanza se ha popularizado en todas las ramas de aprendizaje, y el ajedrez no es una excepción.

Es necesario utilizar los medios de enseñanza adecuados para poder realizar un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje del ajedrez. Gracias a los avances tecnológicos de la actualidad, estos medios de enseñanza han avanzado paralelamente a la tecnología. Por lo tanto, es posible utilizar las ciencias informáticas como una herramienta y medio de enseñanza. Se han desarrollado una diversidad de programas de software que han contribuido con el proceso de enseñanza, y que sirven para el entrenamiento deportivo (Díaz-Rodríguez, 2011). Entre los programas de software más conocidos de ajedrez tenemos: Fritz, Junior, Rybka, Chessmaster, entre otros; el análisis de partidas y las bases de datos trabajan con Chessbase.

Entre las aplicaciones más comunes para el entrenamiento y aprendizaje de ajedrez tenemos: Chess-Play & Learn, RealChess, Lichess, entre muchas más disponibles para todas las plataformas digitales.

### **Tableros electrónicos de Ajedrez**

Un tablero de ajedrez es un tablero cuadrado dividido en 64 casillas en una matriz de ocho filas por ocho columnas, con casillas blancas y negras alternadas.



Un tablero electrónico de ajedrez consiste en el uso de elementos electrónicos tanto en el tablero, como en las piezas, con los cuales sea posible realizar un mecanismo de detección e identificación de las piezas colocadas sobre cada casillero.

a. Detección de piezas

Un tablero electrónico de ajedrez utiliza elementos que sean capaces de exportar la información necesaria para verificar la existencia de una pieza sobre cada una de las casillas.

Un ejemplo de detección de piezas se presenta en el artículo *Low Cost Electronic Chess Set for Chess Tournament* (Mahmood et al., 2011), que es un tablero electrónico con la capacidad de detectar las piezas sobre cada casilla utilizando magnetos y reed switch.

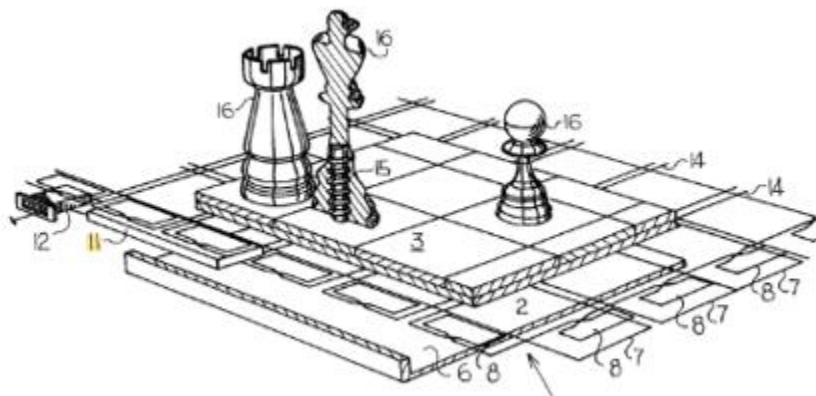
b. Identificación de piezas

A partir del uso de elementos electrónicos y electromagnéticos, un tablero electrónico puede ser capaz de realizar la detección de un sistema que verifique la colocación de una pieza sobre cada una de las casillas y que se identifique la casilla ubicada. El mecanismo deriva en la capacidad de utilizar el tablero en acciones de interacción con el usuario, produciendo un proceso de enseñanza-aprendizaje y almacenamiento de información.

Ejemplificando un tablero electrónico con la capacidad de identificar las piezas se muestra en la patente *Device for detecting playing pieces on a board* (Bulsink, 1998), en donde se muestra el uso de bobinas de resonancia que en función de los parámetros dentro de cada una de las piezas determina el tipo de pieza ubicada sobre las casillas como se muestra en la Figura 10.

## Figura 10

*Tablero electrónico con identificación de piezas mediante bobinas de resonancia.*



*Nota:* Tomado de *Device for detecting playing pieces on a board* (Bulsink, 1998).

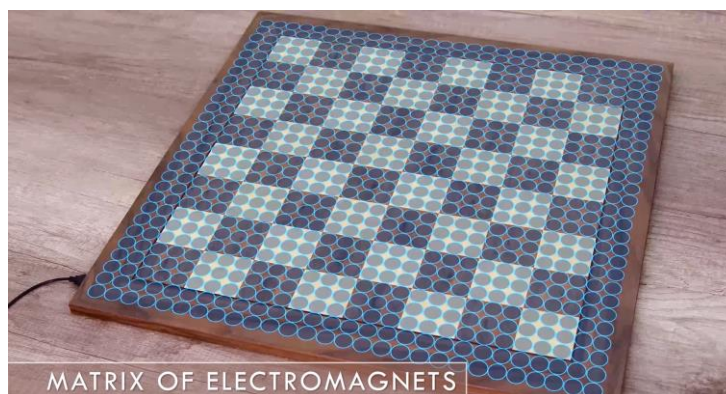
### c. Movimiento de las piezas

Un tablero electrónico es capaz de incluir el movimiento de piezas con elementos electromagnéticos, lo que permite ser capaz de exportar los datos de la identificación de piezas, y recibir los datos de movimientos de respuesta para ser ejecutados en el tablero. De esta manera se expande las posibilidades de interacción para realizar enseñanza/aprendizaje, almacenamiento de datos y entrenamiento de ajedrez.

Un ejemplo de tablero electrónico que enlace la identificación y el movimiento de las piezas es el proyecto Regium, *Automatic Chess e-Board* (HighTech Dynamics, Inc., 2020) en el cual se utiliza una matriz de elementos electromagnéticos que son capaces de realizar el movimiento de las piezas.

## Figura 11

*Tablero electrónico con movimiento de piezas utilizando una matriz de electroimanes*



*Nota:* Tomado de Regium, un tablero electrónico automático de ajedrez (HighTech Dynamics, Inc., 2020).

### d. Iluminación y proyección en el tablero

Un tablero electrónico puede presentar la iluminación y proyección en el tablero de modo que mejore la interacción con el usuario, donde se muestre diferentes eventos que sean útiles para retroalimentar los datos obtenidos de los sistemas de identificación y detección de piezas.

Un ejemplo de un tablero electrónico que presenta proyección en el tablero es la tesis “Diseño e implementación de un módulo robótico multifuncional interactivo para la enseñanza del ajedrez en la empresa INVESPOL Cía. Ltda.” (Carrera, Morales y Tobar, 2017) que tiene un tablero proyectado y utiliza tecnologías de visión artificial, reconocimiento multitáctil, software de predicción y sistemas de control para procesar los datos de identificación e interactuar con el usuario.

## Resumen

La robótica social es la rama de estudio de la robótica que incluye los procesos de interacción, compañía y asistencia social hacia los humanos. Los robots sociales suelen contener la característica de comunicación verbal unidireccional realizando

expresiones orales y comunicación bidireccional recibiendo y procesando la voz del ser humano. El antropomorfismo es otra característica de los robots sociales y se refiere al parecido físico de un robot con características humanas como pueden ser similitudes faciales y corporales permitiendo la asociación del robot con un ente social. Las emociones sociales son características en los robots sociales que permiten mejorar la empatía e interacción de los usuarios.

La robótica educativa es una línea de investigación de la robótica que parte del uso moderno de la tecnología en la educación, mostrando resultados positivos. La robótica educativa tiene dos corrientes basadas en el tipo de interacción de los robots con los humanos. La corriente de robótica constructiva surge del proceso de construcción y desarrollo por parte del usuario para transmitir una enseñanza como la programación, diseño y construcción. La corriente de robótica interactiva, por otro lado, toma un robot social con la capacidad de interactuar para transmitir una enseñanza hacia el usuario.

El ajedrez es un juego de mesa que requiere un largo proceso de aprendizaje, la metodología de enseñanza suele incluir procesos de aprendizaje por niveles, descubrimiento, y a través de la resolución de problemáticas. La metodología de enseñanza de ajedrez ha sido incluida en diversos programas de software. En tableros físicos de ajedrez es necesario agregar un sistema electrónico que puede incluir las características de detección, identificación y movimiento de las piezas, así como iluminación y proyección en el tablero.

## Capítulo III

### Diseño

El capítulo 3 describe el proceso de diseño del proyecto basado en la metodología de diseño centrado en el usuario (UCD) (Abrás et al., 2004). El diseño parte de la identificación de requerimientos del proyecto, bajo el análisis de las necesidades del usuario y del planteamiento del problema. Se procede al planteamiento de alternativas que cumplan con los requerimientos, y a su posterior selección. Finalmente, se definen el diseño y los subsistemas del proyecto, donde se determina los componentes y proceso de construcción y ensamblaje del concepto final.

#### **Metodología Diseño Centrado en el Usuario (UCD)**

El modelo de metodología de diseño centrado (UCD) (Abrás et al., 2004) en el usuario corresponde a un proceso de codiseño en el cual se satisfagan las necesidades y requerimientos de un usuario en específico. El modelo UCD, como se muestra en la Figura 12, parte de una fase de investigación en la cual se establece un análisis del usuario, sus necesidades y requerimientos; a partir de esos datos se establecen los atributos técnicos y análisis de alternativas que definan el alcance del proyecto. Se continua en un proceso de codiseño junto al usuario para el diseño mecánico y electrónico para validar el concepto que será materializado en un prototipo juntamente con pruebas de funcionamiento del sistema.

**Figura 12**

Diagrama de flujo adoptado por el proceso de diseño centrado en el usuario.



*Nota:* Tomado y traducido de *HABITAT: An IoT Solution for Independent Elderly* (Borelli, et al., 2019). TRL: Nivel de preparación tecnológica, QFD: Despliegue de funciones de calidad.

### Investigación del Usuario

El proyecto utiliza la metodología de diseño centrado en el usuario (UCD). El usuario será parte del codiseño, del cual se podrá obtener los requerimientos y especificaciones. El usuario será el encargado de la validación y pruebas de uso que valoren los objetivos alcanzados.

El usuario fue seleccionado tomando en cuenta su interés por el aprendizaje de ajedrez, y que se encuentre en una edad apta para iniciar el proceso de aprendizaje. A

continuación, se presenta un perfil del usuario seleccionado, con su información principal:

- Edad: 9 años
- Ocupación: Estudiante de tercer grado de educación general básica
- Ciudad de residencia: Quito

El usuario responde a las necesidades de refuerzo en su previa enseñanza desde los fundamentos, bases y reglas del ajedrez, por lo que el robot deberá estar diseñado para fundamentar las enseñanzas desde el nivel más básico.

### Identificación de necesidades

Las necesidades del usuario obtenidas en base a entrevistas y preguntas estarán descritas en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Necesidades presentadas por el usuario*

#	Tópico	Necesidades
1		Reproducción de gestos
2		Luces, sonidos y movimientos animados
3	Robot	Comunicación verbal
4	Antropomórfico	Tamaño acorde al tablero
5		Aspecto atractivo y acorde con el juego
6		Fácil conectividad
7		Detección de piezas en cada casilla
8		Asistencia de reconocimiento de cada pieza
9	Tablero de	Mandos de control
10	ajedrez	Luces guía
11		Tamaño acorde a las proporciones del usuario.
12		Portátil

#	Tópico	Necesidades
13	Metodología de	Aprendizaje mediante niveles
14	Enseñanza	Valoración de ejercicios de aprendizaje
15	General	Tamaño compacto
16		Costo mínimo

### Lista de métricas

A partir de las necesidades, es posible ubicarlas bajo un sistema de métricas de dimensiones conocidas para cada necesidad y que defina las especificaciones del robot final. La Tabla 2 muestra la lista de métricas.

**Tabla 2**

*Lista de Métricas*

Necesidad	Métrica	Magnitud	Unidad
1, 2, 5	Antropomorfismo		
1, 2	Ojos con parpados	2	-
3, 5	Boca	1	-
1, 2, 5	Luces LED Multicolor en el rostro del robot	8	-
4, 5, 15	Altura máxima del robot	40	cm
1, 3, 5	Mensajes auditivos	1	-
11, 12, 16	Ancho máximo de cada casilla	3	cm
11, 12	Ancho máximo de cada pieza	3	cm
11, 12	Ancho máximo del tablero	30	cm
13	Número mínimo de niveles	3	-
2, 14	Número mínimo de grados de libertad	2	-
1	Luces LED en el tablero	64	-
13, 7	Voltaje de la fuente incluida	5	V



<b>Necesidad</b>	<b>Métrica</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
10	HMI		
8, 15	Número de sensores de detección	64	-
9, 15	Numero de sensores de reconocimiento	1	-
17	Costo máximo	500	Dólares



## Descripción de la arquitectura

El prototipo final del robot social interactivo cuenta con arquitectura modular descrita en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Descripción de la arquitectura*

<b>Módulo</b>	<b>Submódulo</b>	<b>Funciones</b>
Interacción	• Mensajes Auditivos	Antropomorfismo
	• Retroalimentación	Emitir Colores
	• Interacción Visual	Emitir Sonidos
	• Apariencia	Expresar emociones
	• Expresiones	Interactuar con el usuario
Control	• Tarjeta Controladora	
	• Sensores de reconocimiento de pieza	Controlar los movimientos del robot
	• Sensores de detección de la pieza	Adquisición de datos
Estructura	• Material del Robot	Poseer tamaño compacto
	• Dimensiones	Soportar las cargas aplicadas
	• Motores	Realizar los movimientos planteados.
Enseñanza	• Metodología de enseñanza	Establecer la metodología de enseñanza de ajedrez acorde a las necesidades del usuario.

## División modular y descripción de alternativas

A partir de la definición de las necesidades, especificaciones y funciones del robot social interactivo, se realiza la subdivisión de módulos y submódulos para el diseño. Cada módulo cuenta con diferentes funciones especificadas en la Tabla 4. A continuación, se realiza el desarrollo de cada módulo, a partir de sus componentes, subsistemas y selección de alternativas.

### ***Módulo de Interacción***

El módulo de interacción cuenta con el objetivo de generar la interacción entre el humano y el robot, a partir del uso de componentes que capten la atención del usuario y que brinden información sobre los procesos de aprendizaje que se desarrollan. Los sistemas de interacción con el usuario serán visuales y auditivos, para lo cual se ha decidido subdividir en varios submódulos que persiguen la percepción de interacción del usuario. Los submódulos contienen varias alternativas para el cumplimiento de sus funciones. Los criterios de selección de las alternativas se priorizan en función del costo, la aprobación del usuario, la adaptabilidad y conectividad con los otros módulos.

Los submódulos pertenecientes al módulo de interacción y alternativas se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Submódulos y alternativas del módulo de interacción.*

<b>Submódulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alternativas</b>
Comunicación verbal	Comunicación verbal mediante la reproducción de mensajes auditivos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Text to Speech de Google (Google Cloud Platform, s. f.)</li> <li>• Mensajes grabados.</li> </ul>

<b>Submódulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alternativas</b>
Retroalimentación	Sistema utilizado para obtener la información del usuario sobre su nombre o el nivel de juego que desea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HMI</li> <li>• Chatbot</li> </ul>
Interacción Visual	Interacción visual mediante el uso de luces que capten y direccionen la atención del usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyección del tablero</li> <li>• Iluminación LED en cada casilla</li> </ul>
Apariencia	Aspecto físico del robot social que sea atractivo para el usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rey</li> <li>• Peón</li> </ul>
Expresiones	Mecanismos de expresión facial en el robot que interactúen con las acciones del usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento de los ojos</li> <li>• Movimiento de los párpados</li> <li>• Movimiento del cuello</li> </ul>

### ***Módulo de Control***

El módulo de control tiene el objetivo de realizar los procesos de control del robot. Incluye las funciones de adquisición y manipulación de los datos obtenidos. Para cumplir las funciones toma en cuenta varios submódulos que incluyen la tarjeta controladora, el proceso de adquisición de datos del tablero y las alternativas de control del robot y los dispositivos de adquisición de datos.

Los submódulos pertenecientes al módulo de control se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Submódulos y alternativas del módulo de control.*

<b>Submódulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alternativas</b>
Tarjeta Controladora	Dispositivo necesario para la adquisición, procesado y envío de la información.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arduino Mega 2560 Rev3</li> <li>• Raspberry Pi 3 Model B</li> </ul>
Reconocimiento de Piezas	Sensor útil para la identificación del tipo de pieza de ajedrez seleccionada por el usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de Color TCS 3200</li> <li>• Sensor infrarrojo</li> <li>• Sensor de código de barras QR LV3396</li> </ul>
Detección de piezas	Sensores útiles para la detección de la presencia de piezas sobre cada una de las casillas en el tablero de ajedrez.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor infrarrojo</li> <li>• Sensor Magnético A3144</li> </ul>
Diseño Electrónico	Incluye el diseño de los circuitos de acondicionamiento para los sensores y actuadores. También incluye el diseño de la placa PCB.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Placa PCB</li> </ul>

### ***Módulo de la estructura mecánica***

El módulo de estructura mecánica contiene los procesos de diseño y construcción de la estructura física del robot y el tablero de ajedrez. El módulo estructural busca garantizar el soporte y ensamblaje de los componentes electrónicos.

. Los principales objetivos del módulo de estructura son, costos reducidos, seguridad y apariencia agradable.

Los submódulos pertenecientes al módulo de control se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Submódulos y alternativas del módulo de la estructura mecánica*

<b>Submódulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alternativas</b>
Robot social antropomórfico	Conlleva el proceso de diseño y construcción del robot social antropomórfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresión 3D</li> </ul>
Tablero de ajedrez	Conlleva el proceso de diseño y construcción de la estructura del tablero de ajedrez	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte Laser</li> </ul>
Material	Material de fabricación para la construcción del robot social antropomórfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Poli láctico (PLA)</li> <li>• Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)</li> </ul>
Motores	Selección de los motores para los mecanismos de movimiento seleccionados, a través de diseño mecánico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servomotores</li> </ul>

### ***Módulo de enseñanza***

El módulo de enseñanza busca establecer la metodología de enseñanza de ajedrez aplicada en base a las necesidades del usuario. El usuario desconoce los fundamentos del juego por lo que la metodología deberá cumplir dichos requerimientos.

**Tabla 8**

*Submódulos y alternativas del módulo de enseñanza.*

<b>Submódulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alternativas</b>
Metodología de enseñanza	Describe las características y condiciones del proceso de enseñanza de ajedrez	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enseñanza por niveles.</li> </ul>

### **Desarrollo modular y selección de alternativas**

Para la selección de alternativas se utilizará el método de criterios ponderados basados en los objetivos primordiales para cada uno de los módulos y se les asigna un valor de ponderación entre alternativas. En primer lugar, se establecen los criterios preponderantes de acuerdo con cada submódulo para la evaluación de las alternativas.

#### ***Módulo de Interacción***

Para la selección de las alternativas del módulo de interacción se muestra el proceso de selección en las alternativas del submódulo Comunicación Verbal, el cuál será replicado para los módulos y submódulos restantes.

La selección de alternativas en el submódulo comunicación verbal se evaluará en función de los siguientes criterios, los cuales son seleccionados para mejorar el funcionamiento y presentación del proyecto.

- Naturalidad del mensaje.
- Capacidad de adaptación a diversos tipos de mensajes.
- Claridad del mensaje.
- Aprobación del usuario.

El cálculo de ponderación de criterios se encuentra en la Tabla 9.



**Tabla 9**

*Matriz de Ponderación de Criterios para el Submódulo Comunicación Verbal.*

<b>Criterio</b>	<b>Naturalidad</b>	<b>Adaptación</b>	<b>Claridad</b>	<b>Aprobación</b>	<b>Suma</b>	<b>Factor de Ponderación</b>
Naturalidad	0	5	5	1	11	0.444
Adaptación	0.2	0	0.2	0.2	0.6	0.024
Claridad	0.2	5	0	1	6.2	0.25
Aprobación	1	5	1	0	7	0.282
Sumatoria total					4.8	1

Una vez determinados los factores de ponderación para cada criterio, se procede a realizar la matriz de pares de las alternativas para cada uno de los criterios. La matriz de pares se muestra a continuación.

**Tabla 10**

*Matriz de pares de evaluación de alternativas para cada criterio del submódulo de Comunicación Verbal.*

<b>NATURALIDAD</b>	TTS de Google	Mensajes Hablados	Suma	Peso de la Opción
TTS de Google	0	0.1	0.1	0.01
Mensajes Hablados	10	0	10	0.99
Sumatoria Total			10.1	1
<b>ADAPTACIÓN</b>	TTS de Google	Mensajes Hablados	Suma	Peso de la Opción
TTS de Google	0	5	5	0.962
Mensajes Hablados	0.2	0	0.2	0.038
Sumatoria Total			5.2	1

<b>CLARIDAD</b>	TTS de Google	Mensajes Hablados	Suma	Peso de la Opción
TTS de Google	0	0.2	0.2	0.038
Mensajes Hablados	5	0	5	0.962
Sumatoria Total			5.2	1
<b>APROBACIÓN</b>	TTS de Google	Mensajes Hablados	Suma	Peso de la Opción
TTS de Google	0	0.2	0.2	0.038
Mensajes Hablados	5	0	5	0.962
Sumatoria Total			5.2	1

Una vez determinados los valores de peso de cada opción para cada uno de los criterios se procede a realizar el producto de este valor con el factor de ponderación y determinar la alternativa seleccionada. La matriz de pares final se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Matriz de pares final para la selección de alternativas para el submódulo Comunicación Verbal.*

<b>MATRIZ DE PARES FINAL</b>					
<b>ALTERNATIVA</b>	Naturalidad	Adaptación	Claridad	Aprobación	Sumatoria
TTS de Google	0.0044	0.0231	0.0095	0.0107	0.0477
Mensajes Hablados	0.4396	0.0009	0.2405	0.2713	0.9523

A partir de la ponderación de alternativas, se dispondrá de la opción de mensajes hablados grabados y reproducidos.

La selección de alternativas de los siguientes módulos y submódulos conserva el mismo proceso que el submódulo de comunicación verbal. Por lo tanto, los resultados de la selección de alternativas del módulo de interacción se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo Interacción.*

<b>Submódulo</b>	<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa seleccionada</b>
Comunicación verbal	Naturalidad del habla, capacidad de adaptación, claridad y aprobación del usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensajes hablados</li> </ul>
Retroalimentación	Aprobación del usuario, compatibilidad y facilidad de uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HMI</li> </ul>
Interacción Visual	Bajo costo, aplicabilidad y apariencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz LED</li> </ul>
Apariencia	Bajo costo, capacidad de movimiento, aprobación del usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peón.</li> </ul>
Expresiones	Manufactura, bajo costo, versatilidad y aprobación del usuario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento de los párpados</li> <li>• Movimiento del cuello</li> </ul>

La alternativa de apariencia seleccionada es un robot social antropomórfica con forma de peón de ajedrez. En la Figura 13, se muestra la propuesta de apariencia para el robot.

**Figura 13**

*Apariencia seleccionada de peón antropomórfico.*



### ***Módulo Control***

A continuación, se muestra la tabla que incluye los criterios de selección y las alternativas seleccionadas para cada submódulo del módulo de control.

**Tabla 13**

*Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo control.*

<b>Submódulo</b>	<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa seleccionada</b>
Tarjeta	Bajo costo, compatibilidad y	• Arduino Mega 2560
Controladora	facilidad de uso.	Rev3
Reconocimiento de Piezas	Bajo costo, compatibilidad y facilidad de uso.	• Sensor de Color TCS 3200
Detección de piezas	Bajo costo, compatibilidad y facilidad de uso.	• Sensor Magnético A3144

## Diseño Electrónico y placa PCB

El diseño electrónico del robot parte de la determinación de los elementos electrónicos necesarios para su acondicionamiento y ensamblaje en el sistema. La lista de elementos electrónicos se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Lista de elementos electrónicos*

<b>Sección</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Movimiento</b>	Servomotor SG 90	2
	Servomotor LD-20MG	1
<b>Iluminación</b>	LED de alta luminosidad	64
	LED multicolor RGB en el robot	10
	Circuito Integrado MAX 7219	1
<b>Detección de Piezas</b>	Sensor Magnético A3144	64
	Circuito Integrado 74HC165	8
<b>Identificación de Piezas</b>	Sensor de Color TCS3200	1
<b>Alimentación y Control</b>	Fuente de Voltaje a 5V	1
	Tarjeta microcontroladora Arduino Mega	1

Para el acondicionamiento de los sensores magnéticos A3144 es necesaria una fuente de 5 voltios, y una resistencia de 10 k $\Omega$ . El control de las LED multicolor RGB requiere el uso de resistencias de 200 $\Omega$ .

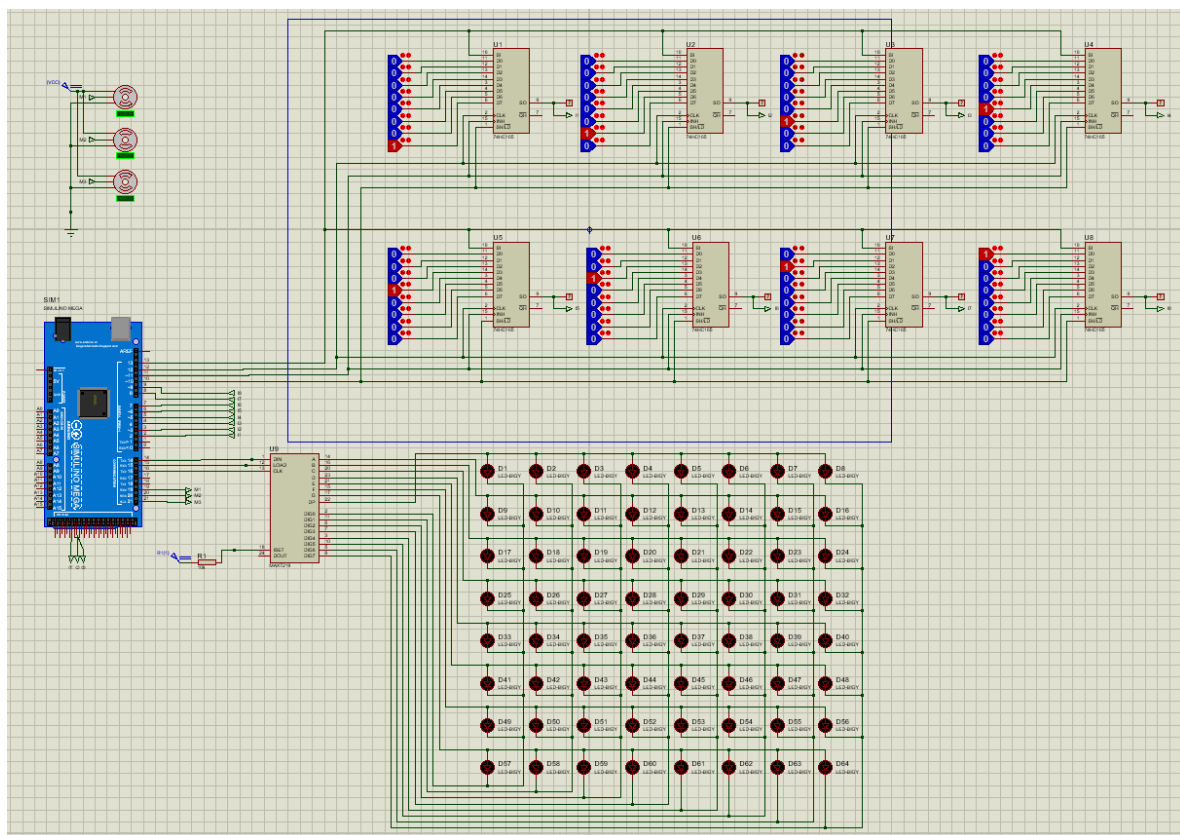
El diseño de la placa PCB para el ensamblaje de los sensores, luces y actuadores toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- El control de las luces LED del tablero se realiza a través del circuito integrado MAX7219, a través de pines digitales en la tarjeta Arduino.
- El control de los sensores se realiza a través de los registros 74HC165, a través de pines digitales en la tarjeta Arduino.
- Los motores serán controlados por pines digitales PWM en la tarjeta Arduino.
- La ubicación de los sensores y LEDs de iluminación deben encajar con su posición en el tablero.

El diseño electrónico propuesto se muestra en la Figura 14.

**Figura 14**

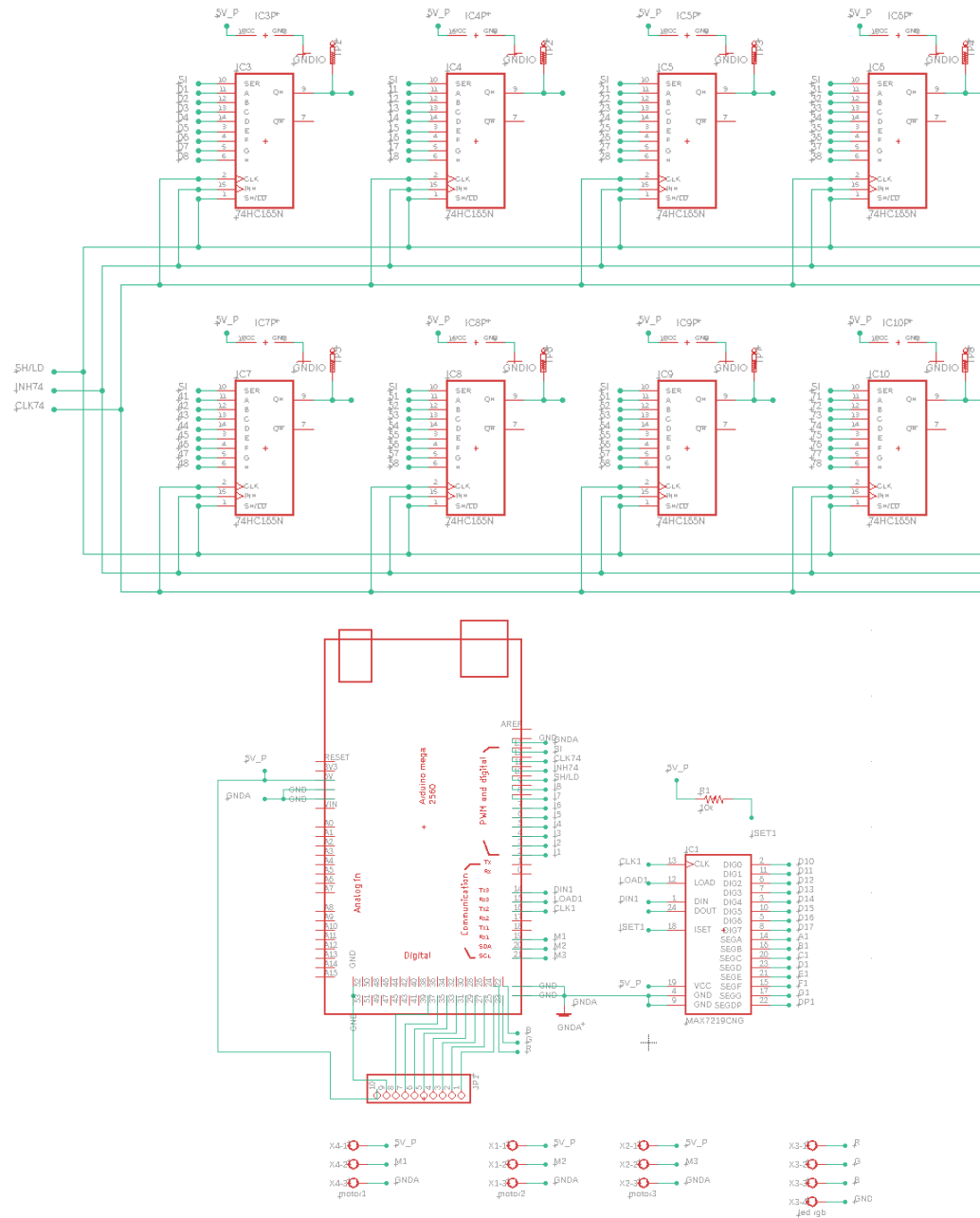
*Simulación del diseño electrónico.*



El diseño electrónico fue trasladado al software de diseño de placas PCB, Autodesk Eagle, en el cual, fue realizado el diseño y distribución de la placa PCB como se muestra en la Figura 15.

**Figura 15**

*Diseño esquemático de las conexiones en los registros y sensores magnéticos, y conexiones en la placa controladora Arduino.*

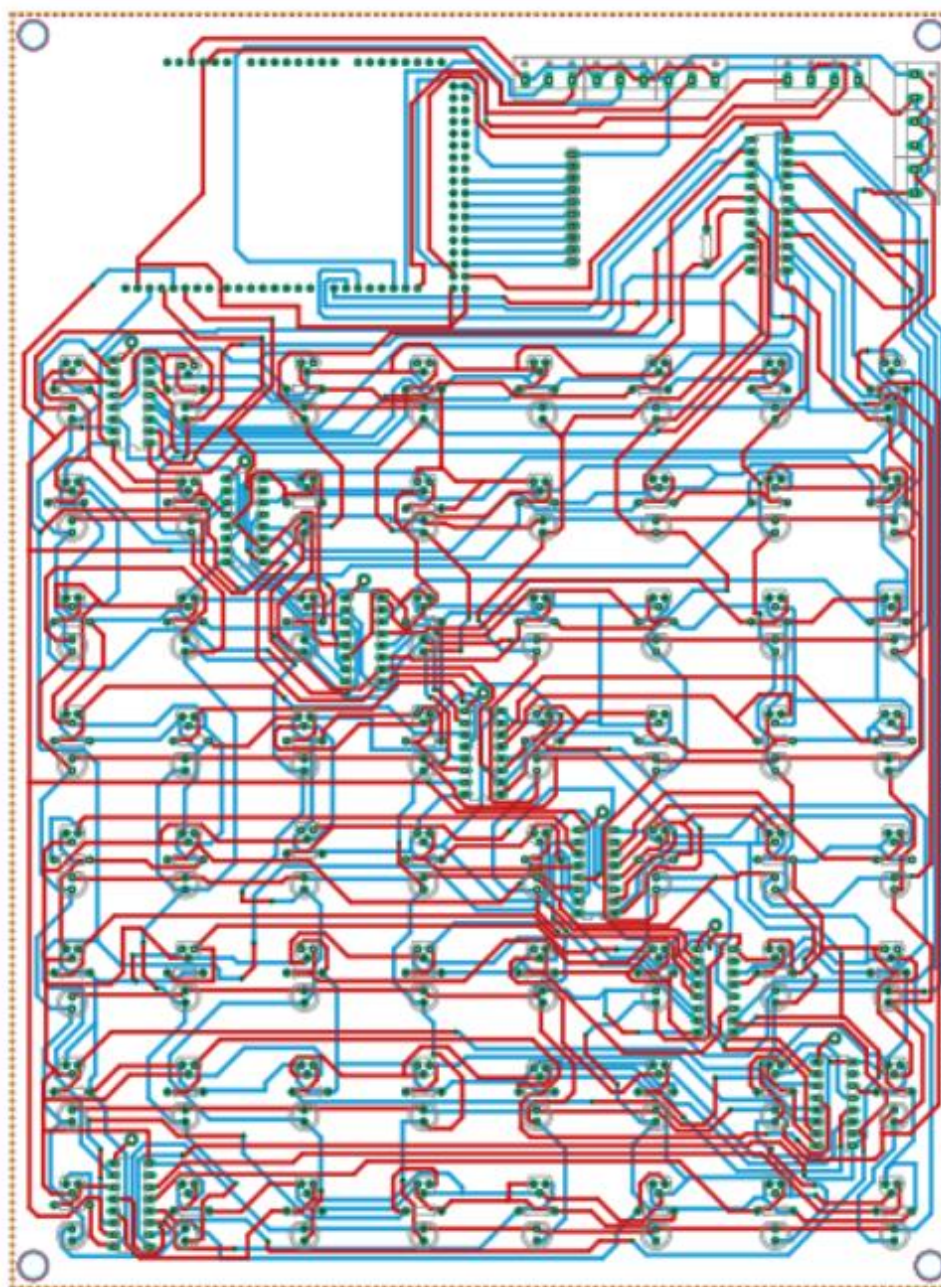


A partir del diseño y estructura electrónica utilizando la tarjeta controladora seleccionada, los sensores seleccionados, y los actuadores de movimiento e iluminación se realiza el diseño de la Placa PCB que será impresa en una placa de

cobre, atacada mediante ácidos y taladrada. El diseño de la Placa PCB se muestra en la Figura 16. En la cual, se muestran las conexiones de la capa delantera con color rojo y las conexiones de la capa trasera con color azul. En color verde se muestran los pines de conexión de los registros, sensores, actuadores, y controladores.

**Figura 16**

*Diseño de la placa PCB.*





### **Módulo de la Estructura Mecánica**

A continuación, se muestra la tabla que incluye los criterios de selección y las alternativas seleccionadas para cada submódulo del módulo de la estructura mecánica.

**Tabla 15**

*Tabla de criterios de selección y alternativa seleccionadas para los submódulos del módulo de la estructura mecánica.*

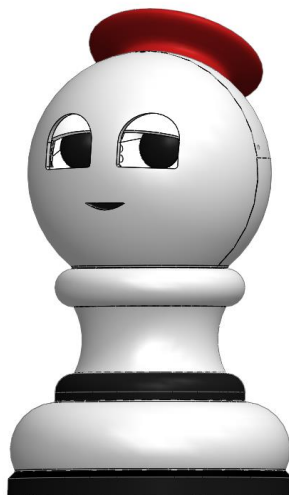
<b>Submódulo</b>	<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa seleccionada</b>
Material	Bajo costo, apariencia y seguridad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Poli láctico (PLA)</li> </ul>

### **Diseño de la estructura mecánica del robot social antropomórfico**

El diseño de la estructura mecánica del robot toma en cuenta el soporte de los actuadores de movimiento e iluminación incluidos. La reducción de costo y uso de material para el proceso de impresión 3D, es otra consideración importante al momento de realizar el diseño de la estructura mecánica del robot social antropomórfico. La siguiente figura muestra una vista exterior del ensamblaje de la estructura mecánica del robot social antropomórfico.

**Figura 17**

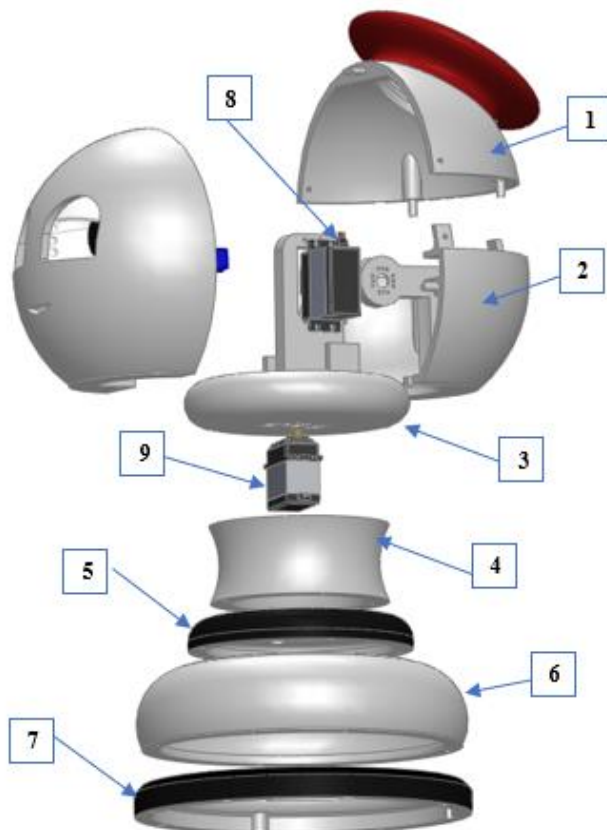
*Vista exterior del ensamblaje de la estructura mecánica del robot social antropomórfico.*



En la Figura 18 se muestra la descomposición de piezas ensamble general de la estructura mecánica del robot social antropomórfica donde se incluye el mecanismo de movimiento del cuello del robot.

### Figura 18

*Descomposición de piezas del robot social antropomórfico.*

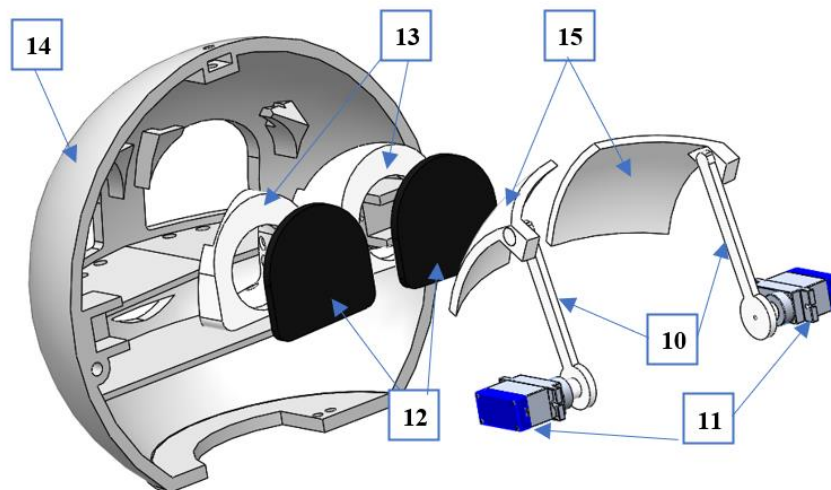


En la Figura 19 se muestra la descomposición del Subensamblaje rostro, con las piezas diseñadas para el movimiento de los párpados en el robot y su ensamble con el rostro del robot.

La lista de piezas basadas en las referencias de la Figura 18 y Figura 19 se muestra en la Tabla 16.

**Figura 19**

*Descomposición de piezas del subensamblaje cara.*

**Tabla 16**

*Lista de partes del robot social antropomórfico.*

Número	Parte
1	Sombrero
2	Cabeza, parte trasera
3	Base superior
4	Base intermedia 1
5	Base intermedia 2
6	Base intermedia 3
7	Base inferior
8	Servomotor cabeza
9	Servomotor cuello
10	Eslabón párpados
11	Servomotor párpados

Número	Parte
12	Pupila
13	Base de los ojos
14	Rostro
15	Párpados

### Diseño y selección de motores

El diseño para la selección de motores parte del cálculo de torque máximo que deberán soportar. Para el cálculo del torque máximo de los motores, se realizará el diseño mediante el momento de inercia.

Debido a la geometría compleja del diseño mecánico del robot social interactivo, se requiere del uso de cálculo de inercias mediante software especializado en elementos finitos.

Se utiliza un software de diseño asistido por computador, en donde se tendrá el modelado del diseño mecánico de los componentes del robot con sus respectivas propiedades mecánicas mostradas en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Propiedades mecánicas del material de la estructura mecánica*

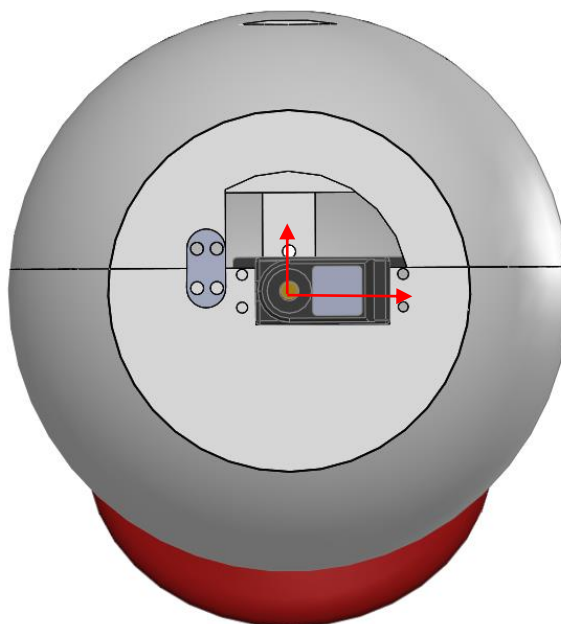
<b>Propiedades mecánicas de la estructura mecánica.</b>	
Material	PLA (Acido Poli láctico)
Densidad	1240 [kg/m <sup>3</sup> ]
Módulo Elástico	3.3 [GPa]
Límite Elástico	55 [MPa]

Los servomotores que realizan el movimiento de los parpados levantan una carga menor a 17 gramos a una distancia de 59 milímetros. El torque necesario para el movimiento, producto de la fuerza por la distancia, es igual a 0.1002 kilogramos por centímetro. La cantidad de torque que ejercen aumenta significativamente al tener superficies rugosas en contacto, para lo cual se realiza un proceso de desbaste y afinado en los parpados y en la parte interna del rostro del robot. El servomotor seleccionado para estos mecanismos es el servomotor SG90 que cuenta con un torque de trabajo de 2.5 kilogramos por centímetro.

Los motores con carga crítica para el análisis mecánico son los motores que generarán el movimiento de los mecanismo del cuello, debido a que, los servomotor deberán mover los componentes en la cabeza del robot. El momento de inercia del ensamblaje cabeza se obtiene del centro de rotación se muestra en la Figura 20 en el eje de rotación del motor.

### **Figura 20**

*Disposición del servomotor y origen de coordenadas sobre la vista inferior del subensamble cabeza.*



El momento de inercia alineado con el centro de masa para el movimiento rotacional sobre el cuello, obtenido del software de diseño SolidWorks es igual a 43.63  $[kg \cdot cm^2]$

Para el cálculo del torque necesario en el motor se hará un balance de energías utilizando la energía cinética de la rotación del motor y el trabajo que la inercia ejerce sobre el ensamblaje. La energía cinética de la rotación del motor es equivalente a un medio del momento de inercia por la velocidad angular de movimiento al cuadrado (Norton, s. f.), como se muestra en la ecuación ( 1 ); mientras que el trabajo que produce el torque depende del desplazamiento angular necesario para obtener la velocidad angular final (Norton, s. f.), como se muestra en la ecuación ( 2 ). La velocidad angular final se tomará bajo un criterio de programación para servomotores comerciales con un valor de  $60^\circ/0.6$  seg.

$$E_{cinetica} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot (\omega_f^2 - \omega_o^2) \quad (1)$$

$$W_{torque} = T \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Debido a que la energía cinética necesaria es igual al trabajo realizado por el torque de un motor, como se muestra en la ecuación ( 3 )

$$E_{cinetica} = W_{torque} \quad (3)$$

De donde se obtiene la ecuación:

$$T \cdot \Delta\theta = \frac{1}{2} \cdot I \cdot (\omega_f^2 - \omega_o^2) \quad (4)$$

Los datos que serán reemplazados en la ecuación se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Datos necesarios para el cálculo del torque del mecanismo rotacional alrededor del cuello.*

<b>Dato</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Momento de Inercia	$I$	43.63	$[kg \cdot cm^2]$
Velocidad Angular Inicial	$\omega_o$	0	$[rad/seg]$
Velocidad Angular Final	$\omega_f$	1.745	$[rad/seg]$
Desplazamiento Angular	$\Delta\theta$	1	$[^\circ]$

Reemplazados los datos en la ecuación ( 4 ), se obtiene que el torque requerido es:

$$T = 3.8844[Kg \cdot cm] \quad (5)$$

El torque necesario de aplicación aumentará en función de un factor de seguridad dispuesto por las consideraciones de esfuerzos de fricción, peso agregado, malas prácticas de funcionamiento y la tensión interna de los cables. El factor de seguridad propuesto es de 2. El torque de aplicación es el producto entre el torque encontrado en la ecuación ( 5 ) y el factor de seguridad establecido. El torque de aplicación está mostrado en la ecuación ( 6 ).

$$T_{aplicación} = 7.7688[Kg \cdot cm] \quad (6)$$

El motor de carga crítica para el movimiento rotacional alrededor del cuello requiere un torque de 7.7688 [Kg cm], por lo que se seleccionó el servomotor MG 996R con torque de 9.4 [Kg cm].

Para el motor del segundo grado de libertad del cuello para la rotación de la cabeza se realiza el mismo procedimiento aplicando las características mostradas en la

Tabla 19. El factor de seguridad utilizado para el mecanismo de rotación sobre la cabeza es mayor debido a la mayor cantidad de superficie de rozamiento.

**Tabla 19**

*Datos necesarios para el cálculo del torque del mecanismo rotacional alrededor de la cabeza.*

<b>Dato</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Momento de Inercia	$I$	40.35	$[kg \cdot cm^2]$
Velocidad Angular Inicial	$\omega_o$	0	$[rad/seg]$
Velocidad Angular Final	$\omega_f$	1.745	$[rad/seg]$
Desplazamiento Angular	$\Delta\theta$	1	$[^\circ]$
Torque Requerido	$T$	3.592	$[kg \cdot cm]$
Factor de Seguridad	$F_s$	4	
Torque de Aplicación	$T$ aplicación	14.366	$[kg \cdot cm]$

El motor para el mecanismo rotacional alrededor de la cabeza requiere un torque de 14.366 [kg cm], por lo que se seleccionó el servomotor LD 20MG con un torque máximo de 20 [Kg cm].

### **Análisis de cargas estáticas**

El análisis de cargas estáticas parte de la aplicación de las cargas propuestas sobre las piezas para determinar su resistencia al esfuerzo. Para realizar el cálculo, son necesarios datos de la geometría del robot. Debido a la geometría compleja del motor, los datos serían significativamente complejos de encontrar, para lo cual se utilizará software de elementos finitos que determine la carga máxima obtenida en las piezas sometidas a esfuerzo.

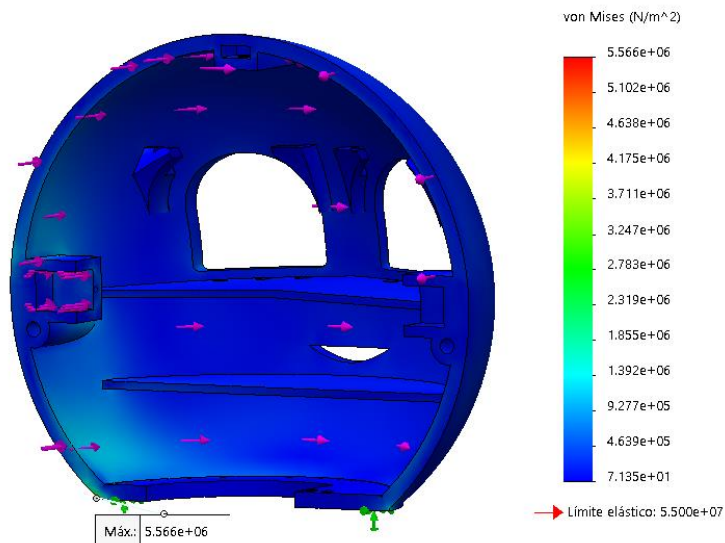


El análisis estático se realiza bajo condiciones de máxima carga y propiedades físicas del material impreso PLA. Las cargas incluidas en el análisis son las cargas de peso de los componentes sobre la pieza analizada y el torque del motor sobre la cabeza del robot.

En la Figura 21 se muestra el resultado de la simulación y análisis de cargas estáticas de la pieza base superior del robot.

### Figura 21

*Resultado del análisis de cargas estáticas sobre la pieza rostro.*



La determinación de las cargas máximas se muestra en la Tabla 20.

### Tabla 20

*Datos de la carga máxima obtenidas en las piezas del robot.*

Pieza	Peso [Kg]	Carga Máxima [MPa]
Sombrero	0.286	0
Cabeza, parte trasera	0.175	0.4
Rostro	0.259	5.56
Base superior	0.276	12.61

<b>Pieza</b>	<b>Peso [Kg]</b>	<b>Carga Máxima [MPa]</b>
Base intermedia 1	0.202	0.69
Base intermedia 2	0.118	1.78
Base intermedia 3	0.429	0.98
Base inferior	0.142	0.6
Limite Elástico PLA [MPa]		55

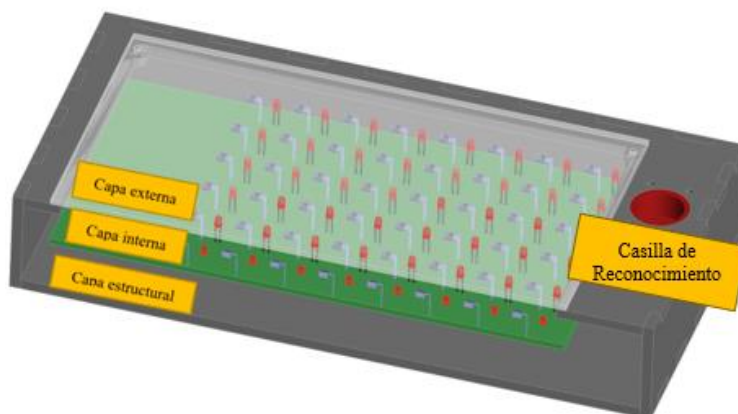
La carga más fuerte se aplica en la base superior, en la unión con el eje del motor. Utilizando el límite elástico del material PLA de la impresión 3D se determina que el factor de seguridad mínimo es igual a 4,36. El valor del factor de seguridad garantiza el funcionamiento correcto tomando en cuenta malas prácticas de funcionamiento, cargas añadidas y las fallas en el proceso de fabricación mediante impresión 3D.

#### **Diseño de la estructura mecánica del tablero de ajedrez**

El diseño de la estructura mecánica del tablero de ajedrez esta realizado para ser realizado en corte laser. El material de la tapa superior es acrílico transparente de tres milímetros de grosor para permitir el paso de la luz y el paso del campo electromagnético de los imanes. El resto de la estructura será realizada en fibropanel de densidad media, o madera MDF, de cinco milímetros de grosor para soportar el pandeo y la carga de la placa PCB. El diseño contempla 3 capas. La capa externa contiene la tapa superior de acrílico, la capa interna contiene la placa PCB, y la capa estructural que contempla la disposición de la estructura. En la capa estructural se apoya la casilla de reconocimiento como se muestra en la Figura 22.

**Figura 22**

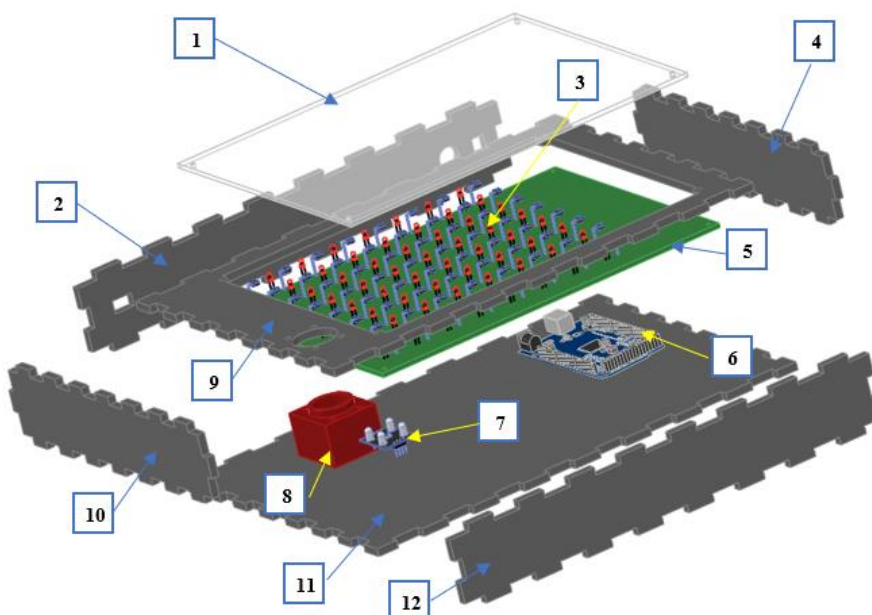
*Capas del tablero de ajedrez ubicadas en un plano de sección media.*



En la Figura 23 se muestra la descomposición de las piezas ubicadas en el diseño mecánico del tablero de ajedrez. En la casilla de reconocimiento se ubica el sensor de color TCS 3200. La placa PCB se ubica debajo de la tapa superior de acrílico, conservando los sensores magnéticos A3144 y la matriz LED de iluminación de las casillas hacia arriba.

**Figura 23**

*Descomposición de piezas del tablero de ajedrez.*



La lista de piezas basadas en las referencias de la Figura 23 se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Lista de partes del tablero de ajedrez.*

<b>Número</b>	<b>Parte</b>
1	Tapa externa
2	Tapa lateral izquierda
3	Matriz LED y de Sensores
4	Tapa trasera
5	Placa PCB
6	Arduino MEGA
7	Sensor de Color TCS 3200
8	Casilla de Reconocimiento
9	Tapa superior
10	Tapa frontal
11	Tapa inferior
12	Tapa lateral derecha

### ***Módulo de Enseñanza***

El sistema constará de tres niveles de enseñanza que buscan generar el aprendizaje de los fundamentos de ajedrez. Los niveles de enseñanza que serán aplicados en la programación del robot se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Definición de los niveles aplicados en la metodología de enseñanza.*

<b>Número</b>	<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
1	Reconocimiento de las piezas	El usuario reconocerá cada una de las piezas del tablero
2	Movimiento de las piezas	El usuario aprenderá el movimiento de cada una de las piezas de ajedrez
3	Ubicación de las piezas	El usuario comprenderá la ubicación de las piezas en la posición inicial del tablero de ajedrez.

## **Resumen**

En el capítulo 3 se detalla el diseño del robot a partir del uso de la metodología de diseño centrada en el usuario (UCD). Parte del proceso de identificación de necesidades del usuario, de donde se establecen las especificaciones de diseño. El sistema se subdivide en 3 módulos. Cada módulo contiene varios submódulos que buscan cumplir funciones específicas, para atender a las funciones de cada submódulo se establecen varias alternativas, las cuales serán seleccionadas bajo puntuaciones en criterios de ponderación establecidos.

El módulo de interacción busca cumplir los objetivos de interacción con el usuario para lo cual cumple con las funciones de comunicación verbal, a través de la alternativa de mensajes hablados; retroalimentación, por medio de una HMI; interacción visual, en una matriz LED en el tablero y luces LED RGB en el rostro del robot;

aparición de peón antropomórfico; y expresiones sociales, por medio de movimiento de los párpados y cuello.

El módulo de control busca realizar las acciones de control bajo la adquisición y procesamiento de los datos. La tarjeta controladora seleccionada para realizar el procesamiento de datos es el Arduino Mega 2560 Rev3. El proceso de adquisición de datos se realiza mediante sensores magnéticos A3144 para la detección de piezas en las casillas del tablero de ajedrez, y mediante el sensor de color TCS3200 para la identificación de las piezas en la casilla de reconocimiento. El diseño electrónico que alberga las conexiones y acondicionamiento de los sistemas de adquisición de datos, iluminación y movimiento se realiza para obtener el diseño de la placa PCB.

El módulo de la estructura mecánica contempla el diseño mecánico del robot social mediante modelado para impresión 3D, y el diseño de la estructura del tablero de ajedrez para corte laser. El material de impresión 3D para el robot es PLA, mientras que para el tablero de ajedrez es madera MDF y acrílico para la tapa superior. El diseño mecánico y materiales fueron comprobados bajo la aplicación de cargas estáticas para verificar su correcto funcionamiento a carga máxima. La selección de los servomotores SG90, MG996R, LD20MG para el movimiento de los párpados y el mecanismo de 2 grados de libertad del cuello respectivamente, fueron seleccionados mediante cálculo del torque máximo necesario.

El módulo de enseñanza establece la metodología de enseñanza mediante 3 niveles: reconocimiento de piezas, movimiento de piezas y ubicación de piezas; con el fin de explicar los fundamentos básicos del ajedrez.

## Capítulo IV

### Construcción y Pruebas de Funcionamiento

El capítulo 4 describe el proceso de construcción e implementación del robot social interactivo. El capítulo parte de la construcción de la estructura mecánica del robot social mediante impresión 3D y del tablero electrónico de ajedrez mediante corte laser bajo el diseño propuesto. Se describe la implementación electrónica mediante la construcción de la placa PCB, adquisición de elementos electrónicos, soldadura y ensamblaje. El proceso de implementación finaliza con el desarrollo de la programación del software en la placa controladora Arduino y en el entorno Python incluyendo la interfaz de usuario (HMI).

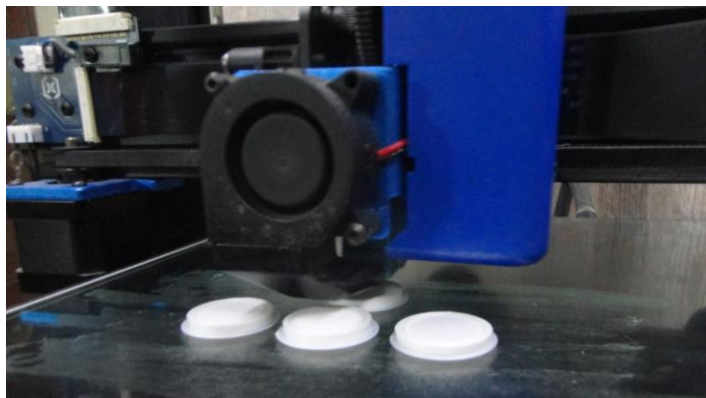
El capítulo concluye con la verificación del prototipo final mediante pruebas de funcionamiento basados en la metodología de diseño centrado en el usuario (UCD)-

#### Construcción Mecánica

La construcción mecánica atiende al submódulo de diseño de la estructura mecánica. El diseño de la sección del robot social fue implementado bajo el proceso de impresión en 3D, utilizando PLA, como material de extrusión. La Figura 24 muestra el proceso de construcción mecánica mediante el proceso de impresión 3D.

#### Figura 24

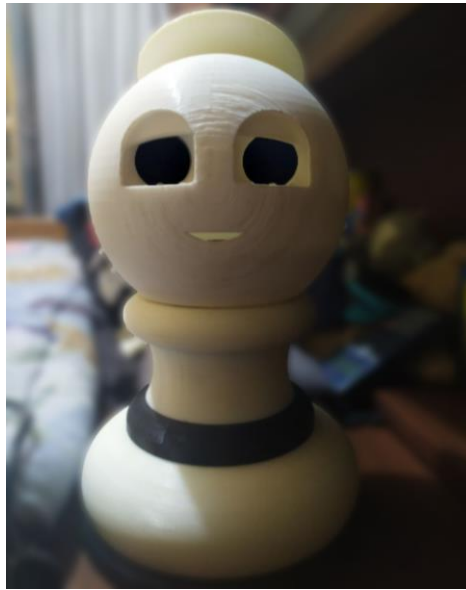
*Construcción mecánica el proceso de impresión 3D*



El proceso de impresión 3D fue realizado para la construcción mecánica del robot y de las piezas de ajedrez. El resultado del proceso de impresión 3D de la estructura mecánica del robot se muestra en la Figura 25. El resultado del proceso de impresión de las piezas de ajedrez se muestra en la Figura 26.

**Figura 25**

*Resultado del proceso de construcción del robot social mediante impresión 3D.*



**Figura 26**

*Resultado del proceso de impresión 3D de las piezas de ajedrez.*





La calidad del acabado superficial en el resultado de construcción preliminar de la superficie del robot social es deficiente y puede afectar la aprobación del usuario, debido al proceso de impresión 3D por fundición de material. Con la finalidad de mejorar la apariencia y la aprobación del usuario. Se realizó el proceso de masillado, lijado y pintado como se muestra en la Figura 27 y Figura 28.

### **Figura 27**

*Proceso de lijado de las piezas impresas después del proceso de masillado.*



### **Figura 28**

*Proceso de pintado de las piezas lijadas.*



Los resultados del proceso para mejorar la apariencia del robot social se muestran en la Figura 29.

### **Figura 29**

*Apariencia final del robot social.*



Se realizó el proceso de implementación de los sistemas de movimiento, del submódulo de las expresiones, a partir de la adquisición y ensamblaje de los servomotores SG90, MG996R y LD20MG, como se muestra en la Figura 30.

### **Figura 30**

*Ensamblaje interno de los actuadores para los mecanismos de movimiento del robot social.*



A las piezas de ajedrez impresas se les insertó un imán de neodimio útil para generar el campo magnético que será detectado por los sensores. Finalmente se cerró la apertura de los imanes con una capa del color específico para cada pieza. El proceso descrito se muestra en la Figura 31.

### Figura 31

*Proceso de magnetización de las piezas de ajedrez.*



La distribución de colores respectivos de la capa inferior para cada una de las piezas se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Distribución de colores para la capa inferior de las piezas.*

<b>Pieza</b>	<b>Color de la capa inferior</b>
Peón Blanco	Blanco
Peón Negro	Negro
Caballo Blanco	Amarillo
Caballo Negro	Azul
Alfil Blanco	Piel
Alfil Negro	Verde
Torre Blanca	Naranja
Torre Negra	Rojo
Dama Blanca	Beige
Dama Negra	Dorado
Rey Blanco	Naranja Claro
Rey Negro	Café

La construcción de la estructura externa del tablero de ajedrez fue realizada bajo el proceso de corte laser como se muestra en la Figura 32.

**Figura 32**

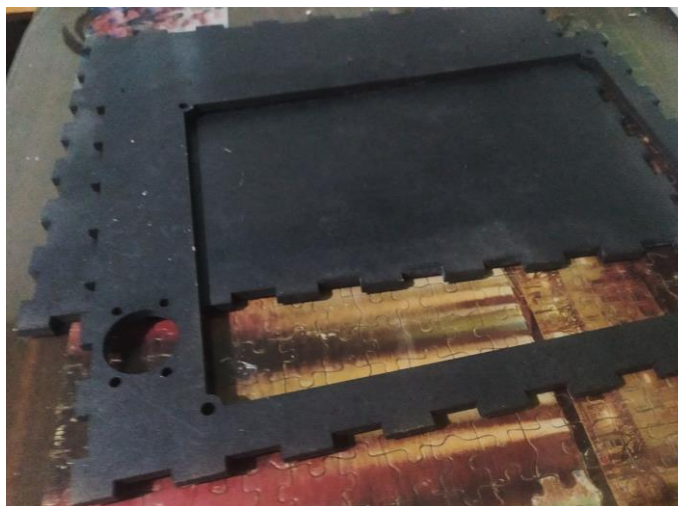
*Resultado del proceso de corte laser para la estructura mecánica del tablero.*



Con el objetivo de mejorar la apariencia se realizó el proceso de pintado de las piezas cortadas en material MDF, como se muestra en la Figura 33.

**Figura 33**

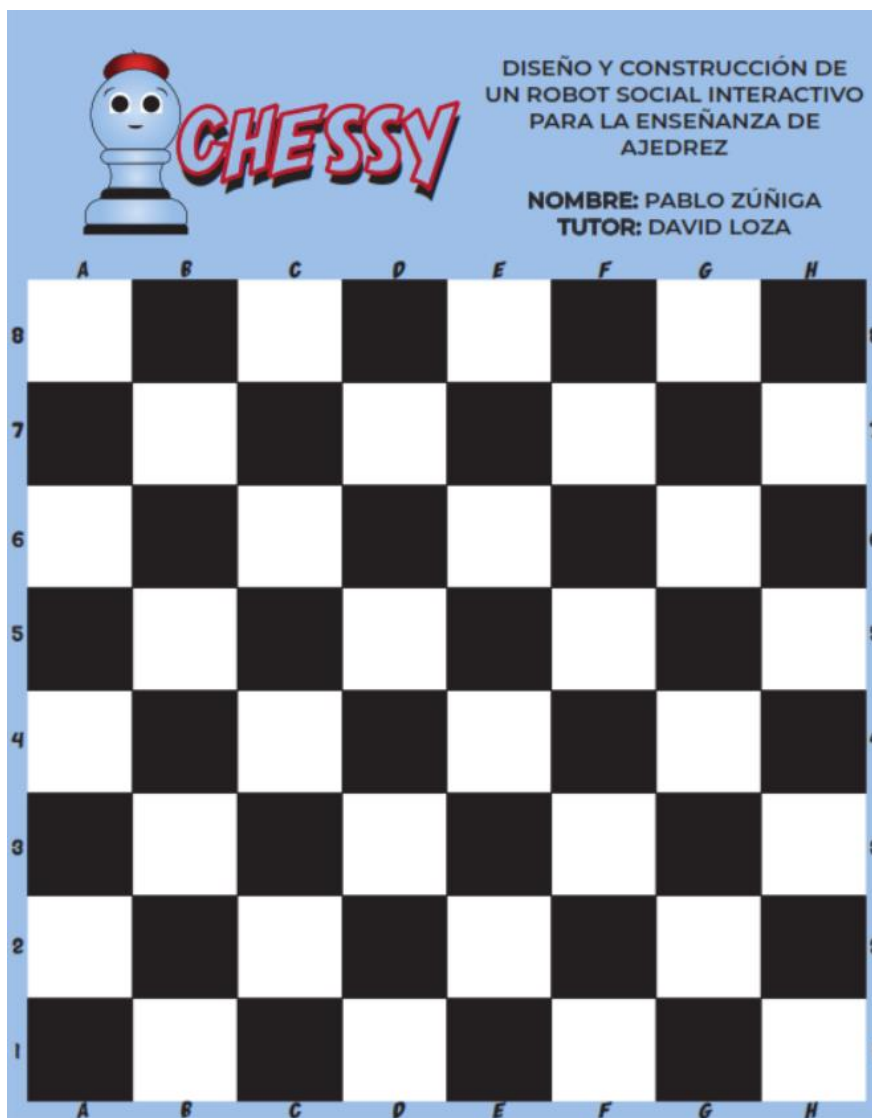
*Piezas de la estructura mecánica del tablero pintadas.*



Para mostrar el tablero de ajedrez con sus respectivas anotaciones, se adhirió la imagen mostrada en la Figura 34 sobre la tapa externa de acrílico.

**Figura 34**

*Portada del tablero de ajedrez.*



El ensamblaje final de las piezas cortadas del tablero, junto a la casilla de reconocimiento se muestra en la Figura 35.

**Figura 35**

*Apariencia final del tablero electrónico de ajedrez.*



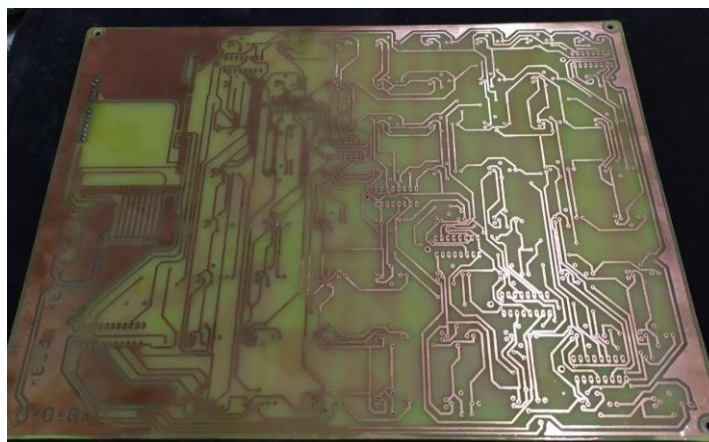
### **Implementación Electrónica**

El proceso de implementación electrónica conllevó la adquisición, ensamblaje, soldadura y verificación de los elementos electrónicos. La implementación electrónica parte del diseño propuesto en el módulo de control, para cumplir con los objetivos de adquirir datos y realizar las acciones de interacción del robot y del tablero.

La implementación electrónica parte de la fabricación de la placa PCB a partir del diseño propuesto y se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 36.

**Figura 36**

*Implementación de la placa PCB.*





A partir de la adquisición de los elementos electrónicos especificados en la Tabla 14, se realizó la soldadura de los elementos basados en el diseño esquemático realizado. Fueron añadidos al tablero los pines de conexión para la tarjeta controladora Arduino MEGA, y para los elementos electrónicos que se encuentran separados a la placa PCB, como el sensor de color, luces LED RGB y los servomotores. El proceso de soldadura se realizó de forma manual con el uso de caudín para la deposición de estaño fundido como se muestra en la Figura 37.

### **Figura 37**

*Proceso de soldadura manual*



El proceso de soldadura fue verificado mediante la comprobación de funcionamiento de los elementos y conexiones de los subsistemas de identificación de piezas e iluminación del tablero por separado, los errores que se determinaron fueron corregidos respectivamente por procesos de retiro de soldadura, eliminación de conexiones problemáticas y conexiones nuevas usando cables.



## **Desarrollo de Software**

El software de implementación tiene dos secciones: la programación en Arduino IDE y la programación en Python. El entorno Python permite el ensamblaje de las herramientas Text to Speech, generación de interfaces de usuario HMI y comunicación serial con la placa Arduino.

### ***Programación en Arduino IDE***

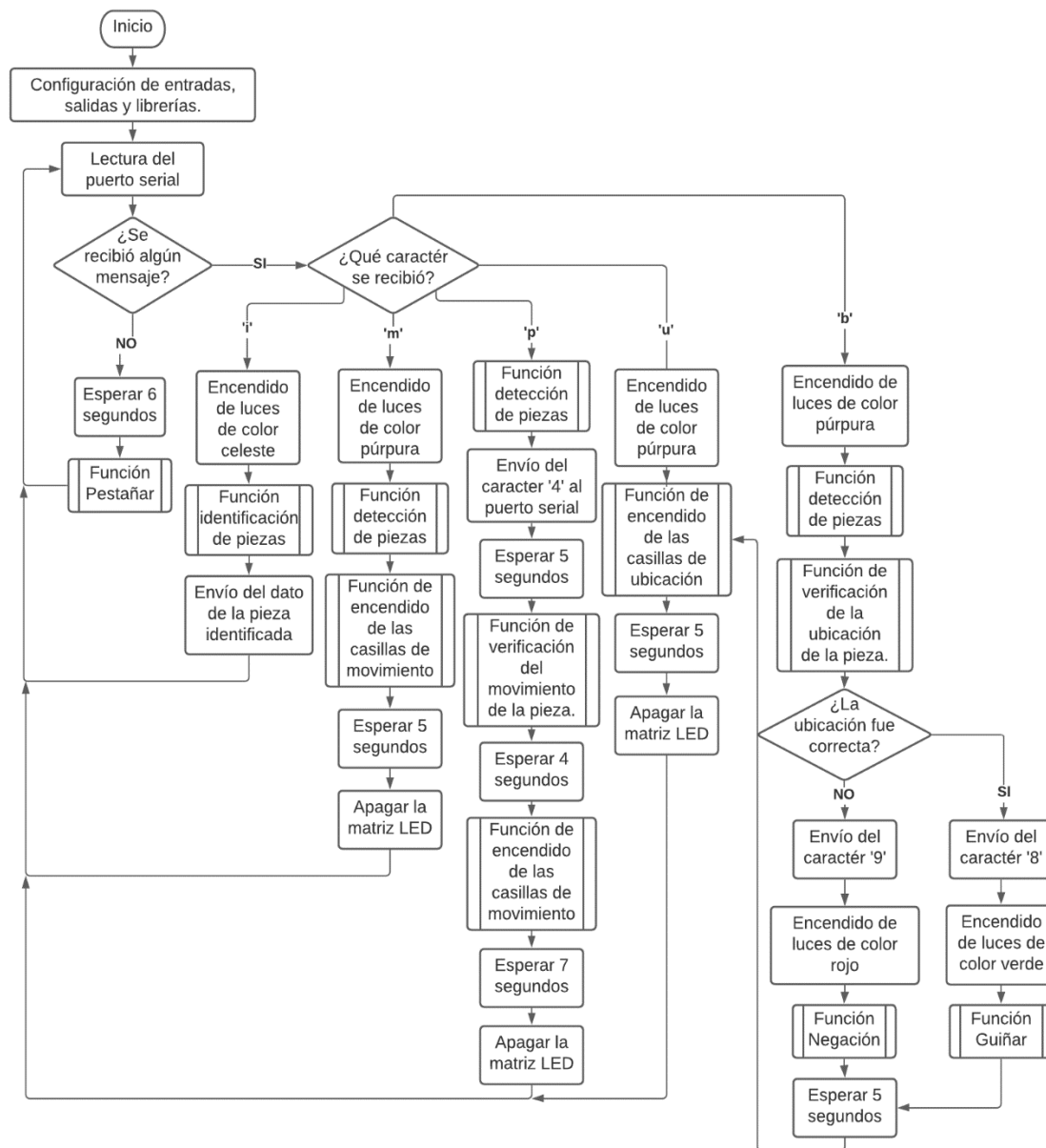
El desarrollo del software para Arduino consiste en la programación de funciones que serán invocadas en base a la información obtenida de la comunicación serial.

Las funciones implementadas sirven para la adquisición de datos mediante los sensores magnéticos y el sensor de color; y para el control de los actuadores como los servomotores, las luces LED RGB en el rostro del robot y la matriz de luces LED en el tablero.

En la Figura 38 se muestra el diagrama de flujo de la programación en Arduino IDE con sus respectivas funciones. El diagrama de flujo parte de la inicialización de las librerías y sistemas como los servomotores, matriz LED, sensor de color y matriz de sensores; para su correcto funcionamiento. A continuación, se recibe un mensaje serial que proviene de la programación en Python, y se lo evalúa para determinar la acción a realizar. Entre las acciones que se ejecutan está el proceso de identificación de las piezas mediante el sensor de color, la evaluación de la posición de una pieza en el tablero mediante la lectura de los sensores magnéticos, el encendido de las casillas de la matriz led en función de la solicitud realizada por el programa, o el movimiento de los actuadores.

Figura 38

Diagrama de flujo de la programación en Arduino IDE.



La descripción de funciones internas a la programación citadas en el diagrama de flujo se describe a continuación:

- La función “pestañar” ejecuta el proceso de movimiento de los servomotores para cerrar los parpados y abrirlos inmediatamente. La función “guiñar” desplaza

el movimiento del servomotor de un solo párpado hacia abajo y hacia arriba, mostrando aprobación.

- La función “negación” realiza el movimiento del servomotor del cuello hacia la derecha y luego hacia la izquierda, mostrando negación.
- La función “identificación de piezas” utiliza la programación del sensor de color TCS3200 para obtener los valores RGB, realizar la comparación de los valores con los rangos aceptados para cada uno de los colores de las piezas y enviar el carácter de identificación de cada pieza.
- La función “detección de piezas” realiza la lectura de los registros de los sensores magnéticos para determinar la presencia de una pieza en una casilla, obteniendo la fila y columna de posición.
- La función “encendido de las casillas de movimiento” utiliza la información de la pieza identificada para encender las casillas donde esa pieza podría moverse bajo los fundamentos del ajedrez.
- La función “verificación del movimiento de la pieza” compara el movimiento realizado con las alternativas de movimiento que tiene la pieza identificada.
- La función “encendido de las casillas de ubicación” utiliza la información de la pieza identificada para encender las casillas donde la pieza es ubicada al inicio de la partida.
- La función “verificación de la ubicación de la pieza” compara la ubicación realizada por el usuario con las alternativas de ubicación que tiene la pieza identificada.

### ***Programación en Python***

La programación en el entorno Python conserva un sistema similar a la programación en Arduino IDE, donde se postulan funciones que serán invocadas en

función de la interacción en el puerto serial conectado a la placa Arduino y en la interfaz de control del usuario (HMI). La interfaz de usuario (HMI) fue realizada utilizando la librería Tkinter para Python.

El diseño de la interfaz de usuario cuenta con 2 pantallas. La primera es la pantalla de bienvenida donde se invita al usuario a insertar su nombre y dar inicio al programa, como se muestra en la Figura 39. La segunda pantalla cuenta con los botones de control del nivel y el modo de funcionamiento como se muestra en la Figura 40.

**Figura 39**

*Pantalla de bienvenida de la HMI.*



**Figura 40**

*Pantalla de control de la HMI*



El sistema cuenta con 3 niveles de aprendizaje sobre los fundamentos del ajedrez como lo muestra la Tabla 22. Cada uno de los niveles tiene un modo de enseñanza, en donde se realiza el proceso de explicación de la identificación, movimiento o ubicación de las piezas; y un modo de práctica en el cual se valida el aprendizaje del usuario, poniéndolo a prueba. La Figura 41 muestra el diagrama de flujo de la programación en Python.

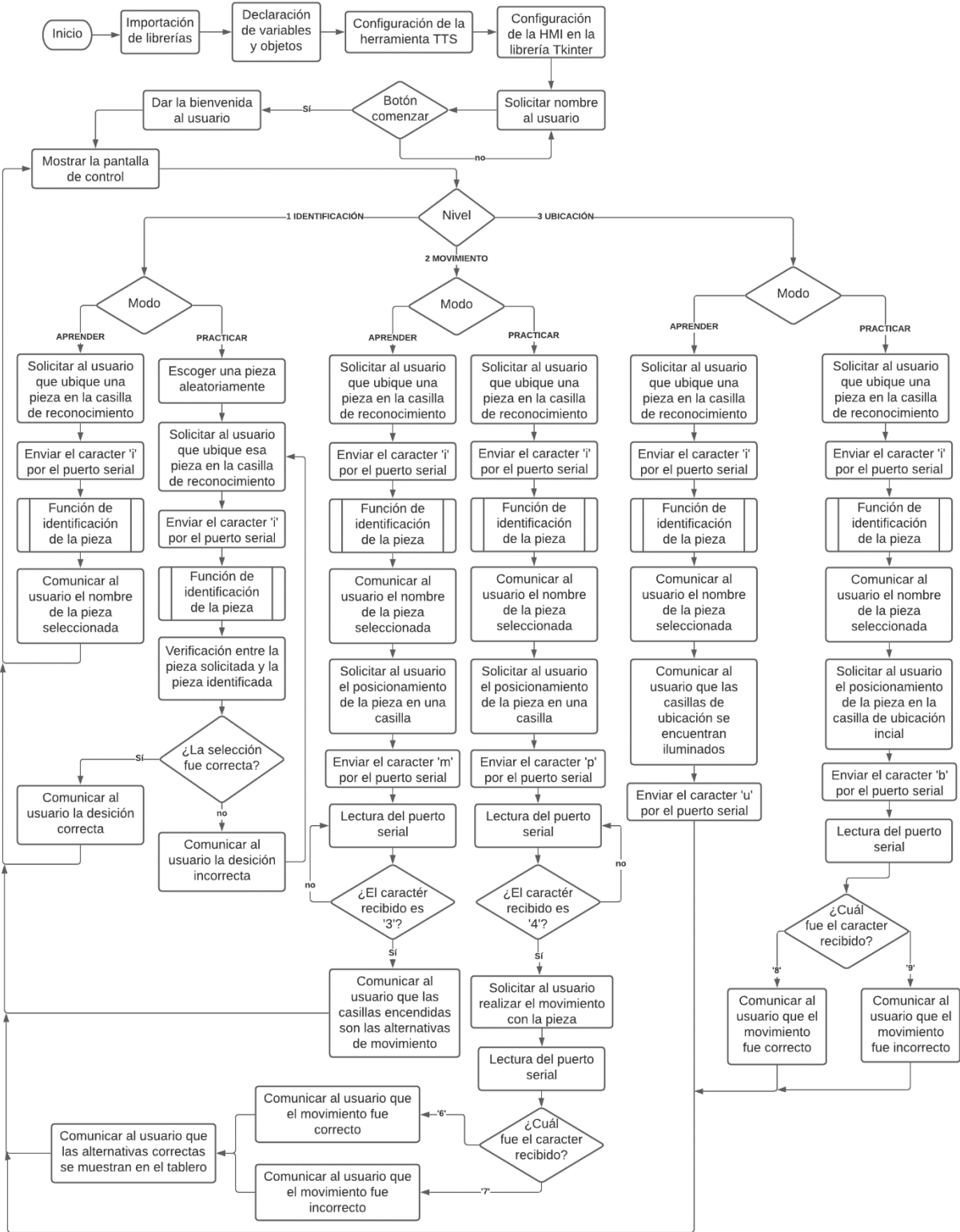
El diagrama de flujo muestra el sistema implementado mediante 3 pantallas de la interfaz de usuario: la pantalla de inicio que solicita el nombre del usuario, la pantalla y mensaje de bienvenida, y la pantalla de control con la disposición de los 3 niveles y dos modos de ejecución del programa. El sistema evalúa el modo y el nivel de la programación para reproducir los audios correspondientes que se encuentran grabados en la carpeta de ejecución del programa, y el envío de datos mediante el puerto serial a la tarjeta Arduino que realizará las acciones y devolverá datos sobre la aprobación o desaprobación del nivel efectuado por el usuario.

La descripción de funciones internas a la programación citadas en el diagrama de flujo se describe a continuación:

- La función identificación de piezas utiliza el carácter recibido del Arduino en el puerto serial para asignarle el nombre de la pieza respectivamente.

Figura 41

Diagrama de flujo de la programación en Python.



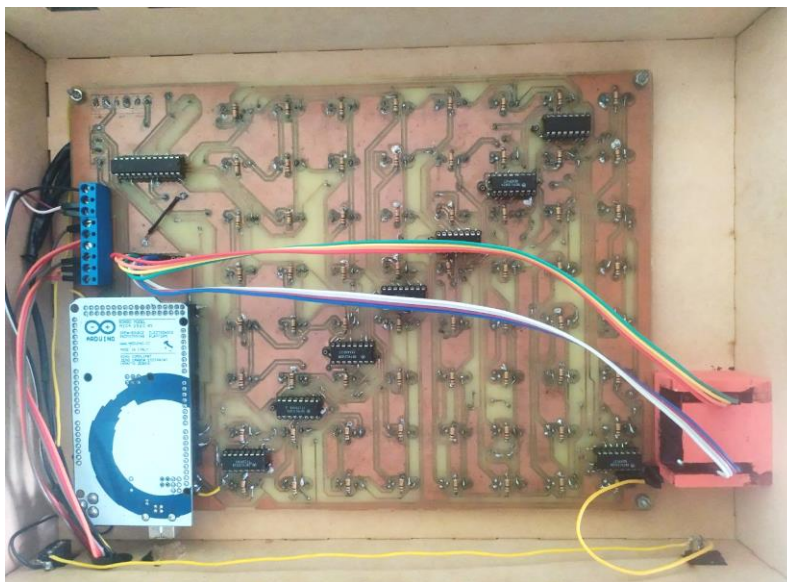
## Ensamblaje del prototipo final

El ensamblaje del prototipo inicial parte del ensamblaje de la placa PCB a la estructura mecánica del tablero mediante unión emperrada como se muestra en la Figura 42. El robot fue ensamblado al tablero mediante la conexión de los terminales de control de las luces y los servomotores.

El desarrollo del software se incluye en la placa controladora Arduino, el cual será conectado mediante cable de conexión serial con el puerto USB de la computadora donde se ejecutará la programación en Python y se mostrará la interfaz de usuario. El prototipo final ensamblado se muestra en la Figura 43.

### Figura 42

*Ensamblaje de la placa PCB a los elementos electrónicos*



**Figura 43***Prototipo final***Evaluación del sistema**

Los componentes mecánicos y electrónicos del sistema se evaluaron en función del ensamblaje y funcionamiento a los cuales serán sometidos. Posteriormente, se ejecutará un criterio de evaluación sobre los procesos de interacción social del sistema basados en las expresiones sociales que emite, para finalmente ser evaluado por el usuario cumpliendo con la metodología UCD. (Borelli, et al., 2019).

***Evaluación del ensamblaje***

La evaluación del ensamblaje es realizada mediante la facilidad para ejecutar el ensamblaje y desensamblaje del robot. Por lo tanto, el sistema cuenta con el siguiente protocolo de ensamblaje:



1. Se realiza las uniones empernadas para el subensamblaje cara, donde se ensambla el rostro del robot con los actuadores para el mecanismo de párpados, junto a las luces RGB que se proyectan en los ojos del robot.
2. Se ensambla el mecanismo de 2 grados de libertad del cuello, mediante la fijación empernada de los servomotores MG996R y LD20MG a la pieza base superior.
3. Se acopla la pieza trasera de la cabeza al mecanismo del cuello, junto a las 3 bases intermedias y la base inferior.
4. Se incorpora el subensamblaje cara a las bases del robot asegurándose de que los cables pasen por las ranuras y salgan por la parte inferior del robot. Para posteriormente sellar el robot con la pieza sombrero mediante unión empernada.
5. Se realiza las uniones de los cables de alimentación de los actuadores del robot a las borneras respectivas la plaza PCB, asegurándose de que los cables atraviesen la ranura circular de la pieza lateral del tablero de ajedrez.
6. Se realiza la unión empernada de la placa PCB a las tapas del tablero de ajedrez. Antes de colocar la tapa inferior del tablero es necesario conectar la placa de control Arduino y los cables del sensor de color que se colocará en la casilla de reconocimiento. Así, el robot queda completamente ensamblado.

Para la puesta en marcha del robot es necesario alimentar con la fuente de 5V y realizar la conexión mediante el cable serial del Arduino hasta la computadora de mando. Finalmente se enciende el interruptor en el lateral derecho del tablero y se inicia el programa de ejecución de la interfaz de usuario en la computadora.

### ***Evaluación del funcionamiento***

La comprobación del funcionamiento del sistema fue realizada mediante la puesta a prueba de cada uno de los niveles y modos que se ofrecen en la pantalla de control de la HMI. Los resultados de evaluación de los elementos y dispositivos del sistema se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Evaluación de funcionamiento de los elementos del sistema.*

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Funcionamiento</b>
64	Sensores Magnéticos A3144	Correcto
1	Sensor de Color TCS3200	Correcto
64	Luces LED de iluminación del tablero	Correcto
10	Luces RGB de iluminación facial	Correcto
2	Servomotores SG90: Movimiento párpados	Correcto
1	Servomotor MG996R: Movimiento cuello	Correcto
1	Servomotor LD20MG: Movimiento cabeza	Correcto
1	HMI	Correcto

### ***Evaluación del proceso de interacción***

El proceso de interacción se evalúa en base a la capacidad del robot de ejecutar movimientos naturales ligados a la comunicación no verbal; y a las expresiones faciales que el robot es capaz de ejecutar para mejorar el proceso de interacción. Las expresiones y movimientos faciales son capaces de validar las acciones ejecutadas en el programa como la aprobación y desaprobación de las decisiones tomadas por el usuario.

En la Tabla 25, se muestra la lista de las expresiones y movimientos que el robot es capaz de realizar.

**Tabla 25**

*Lista de movimientos y expresiones que el robot es capaz de realizar.*

#	Movimientos
1	Pestañar
2	Mover la cabeza en señal de negación
3	Mover la cabeza en señal de afirmación
4	Guiñar un ojo
#	Expresiones
1	Natural
2	Emocionado
3	Triste / Molesto
4	Dormido

### ***Evaluación del usuario***

La metodología de diseño centrada en el usuario culmina con la validación de la experiencia del usuario. Para realizar el proceso de evaluación del usuario se utilizó la evaluación *System Usability Scale (SUS)* (Brooke, 1996) que determina la aprobación del usuario para la experiencia y usabilidad del sistema. La evaluación SUS expone al usuario a una encuesta de 10 preguntas sobre el sistema, fáciles de responder y de puntuar para obtener las valoraciones subjetivas de manera robusta (Bangor et al., 2008).

Las preguntas serán valoradas mediante una escala cuantitativa entre 1 y 5, donde 1 representa estar en total desacuerdo y 5 representa estar totalmente de

acuerdo. En la siguiente tabla se muestran las preguntas realizadas en la encuesta al usuario con las respuestas que fueron otorgadas.

**Tabla 26**

*Encuesta de evaluación SUS*

#	Pregunta	Respuesta
1	Me gustaría utilizar el robot Chessy con frecuencia.	4
2	Creo que el robot Chessy es innecesariamente complejo.	1
3	Creo que es fácil de utilizar al robot Chessy.	5
4	Pienso que es necesario del apoyo de un experto para utilizar al robot Chessy.	2
5	Encontré las diversas funciones del robot Chessy bien integradas.	5
6	Creo que existen muchas fallas en el robot Chessy	2
7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían muy rápidamente a utilizar el robot Chessy	5
8	El uso del robot Chessy me parece muy incómodo	1
9	Me sentí muy confiado en el manejo del robot Chessy	5
10	Creo que es necesario aprender muchas cosas antes de utilizar al robot Chessy	1

El cálculo para el resultado obtenido de la encuesta SUS dicta realizar la sumatoria de las preguntas pares y restarle el valor de 5, posteriormente, restar de 35, la sumatoria de los resultados de las preguntas impares, finalmente realizar la suma de los dos valores obtenidos y multiplicarlos por un factor de 2.5. El resultado se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27**

*Resultado obtenido mediante la evaluación SUS.*

<b>Procedimiento</b>	<b>Resultado</b>
Sumatoria de los resultados de las preguntas pares	24
Resta de 5	-5
Resultado de las preguntas pares	19
Valor de 25	25
Sumatoria de las preguntas impares	-7
Resultado de las preguntas impares	18
Sumatoria de los valores obtenidos	37
Multiplicación por un factor de 2.5	x 2.5
Resultado final	<b>92.5</b>

El resultado final, obtenido a partir de la encuesta de evaluación SUS, fue de 92.5. El promedio habitual tiene un valor de 68 (Sauro, 2011), por lo que los valores superiores al promedio son calificados como buenos. El resultado es cercano al valor máximo de 100, lo que refleja una alta aprobación por parte del usuario para el uso del robot.

### **Resumen**

El proceso de construcción mecánica se compone de la impresión 3D, masillado, lijado y pintado para la estructura mecánica del robot; y de corte láser y pintado para el tablero de ajedrez. Las piezas de ajedrez fueron impresas, magnetizadas y cerradas con una capa inferior de distintos colores para su identificación.

La implementación electrónica parte de la fabricación de la placa PCB, en donde fueron acoplados los elementos electrónicos mediante soldadura manual y ensamblaje a la estructura mecánica mediante uniones empernadas o fijas.

El sistema ensamblado culmina con la implementación en software, que fue realizada para la placa Arduino MEGA y para la plataforma Python. En la placa Arduino se implementó el software que envía, mediante comunicación serial, los datos obtenidos del proceso de identificación y detección de las piezas de ajedrez, mediante el uso de funciones y librerías, y recibe los datos para realizar el movimiento e iluminación de los actuadores en la estructura del robot social y en el tablero de ajedrez. En el entorno Python, se implementó la interfaz humano máquina (HMI) utilizando la librería Tkinter, en donde el usuario puede seleccionar uno de los 3 niveles: Identificación, movimiento y ubicación; y 2 modos de enseñanza: aprender y practicar.

El sistema fue correctamente evaluado bajo un protocolo de ensamblaje, pruebas de funcionamiento y evaluación de los procesos de interacción; para finalmente ser evaluado por el usuario mediante la evaluación SUS donde se obtuvo un valor de 92.5 de aprobación, sobre una escala de 100.

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

El capítulo 6 expone las conclusiones obtenidas del proceso de diseño y construcción del trabajo de investigación. Posteriormente se presentan recomendaciones y trabajos futuros que podrían ser realizados en base al sistema desarrollado.

#### Conclusiones

Se realizó el diseño y construcción de un robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez para niños de 6 a 9 años, bajo la metodología de diseño centrado en el usuario (UCD). El codiseño fue realizado con el usuario, por lo que el diseño del sistema valida la selección de alternativas mediante parámetros que incluyen la aprobación del usuario.

El diseño fue gestionado mediante los módulos de Interacción, Control, Estructura y Enseñanza; los cuales buscan cumplir con los requerimientos del usuario.

El módulo de interacción se compuso de apariencia de un peón antropomórfico, los mecanismos de movimiento de párpados y cuello; los procesos de interacción visual mediante una matriz LED en el tablero de ajedrez y luces LED RGB en el rostro del robot; y los sistemas de comunicación verbal mediante la herramienta Text to Speech de Google.

El módulo de control se estableció para realizar la adquisición de datos de los sensores magnéticos A3144 y del sensor de color TCS3200 para la identificación de las piezas de ajedrez; el procesamiento y control mediante el uso de la tarjeta controladora Arduino MEGA 2560 Rev3 y las respectivas conexiones realizadas en el diseño de la placa PCB.

El módulo de estructura determinó el diseño ideal de la estructura mecánica del robot mediante el proceso de impresión 3D en el material PLA, con la capacidad de soportar las cargas sometidas de peso y de carga de los servomotores SG90 y LD20MG. El diseño determinó que la estructura en su punto crítico tiene un factor de seguridad mínimo de 4,36 demostrando que cumple con los requerimientos de diseño. Los servomotores fueron seleccionados en función de la aplicación. Los servomotores SG90, con torque máximo de 2.5 kilogramos por centímetro, fueron seleccionados para el movimiento de los párpados que requieren un torque de aplicación máximo calculado de 0.01121 kilogramos por centímetro. El servomotor LD20MG, con torque máximo de 20 kilogramos por centímetro, fue seleccionado para el movimiento de la cabeza del robot que requiere un torque de aplicación máximo calculado de 14.366 kilogramos por centímetro. El servomotor MG996R, con torque máximo de 9.4 kilogramos por centímetro, fue seleccionado para el movimiento del cuello del robot que requiere un torque de aplicación máximo calculado de 7.7688 kilogramos por centímetro.

El módulo de estructura también determinó el diseño de la estructura externa del tablero de ajedrez, el cual consta de las siguientes dimensiones: largo total de 331 mm, ancho de 241 mm y 59 mm de altura. El tablero fue diseñado para ser realizado bajo corte laser en material MDF de 5mm de grosor y una tapa superior de acrílico de 3mm que permita la iluminación de las casillas.

El módulo de enseñanza determinó el diseño de la metodología de aprendizaje mediante niveles. El sistema consta de 3 niveles de aprendizaje acerca de la identificación, movimiento y ubicación inicial de las piezas basadas en los requerimientos del usuario.

La construcción del proyecto fue realizada en la sección mecánica, electrónica e implementación de software.



La construcción mecánica del robot social consistió en la impresión 3D del robot social interactivo. La apariencia fue mejorada mediante el proceso de masillado, lijado y pintado. El tablero se construyó mediante corte láser y fue pintado para culminar su implementación. Las piezas de ajedrez fueron realizadas mediante impresión 3D y posteriormente fueron magnetizadas y selladas con una capa de color. El ensamblaje se realizó mediante unión empernada y unión fija.

La construcción electrónica partió de la implementación de la placa PCB, en la cual se soldaron los elementos electrónicos y fue ensamblada a la tarjeta controladora y los actuadores ubicados en el robot. El software fue desarrollado mediante la implementación de un interfaz humano máquina (HMI) y cuenta con un sistema de comunicación serial entre la programación realizada en el entorno Python y el software interno a la placa Arduino.

El sistema fue evaluado y aprobado por el usuario utilizando la escala de usabilidad del sistema (SUS) mediante el uso de una encuesta de 10 sencillas preguntas. Se obtuvo como resultado el valor de 92.5, superior al puntaje promedio, para esta evaluación, de 68; lo cual refleja la aprobación del usuario para el robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez.

### **Recomendaciones**

Las recomendaciones se enfocan en cada uno de los módulos de diseño, recomendaciones para el proceso de construcción y finalmente recomendaciones con respecto a la evaluación del usuario.

Para el diseño, en el módulo de interacción, se recomienda agregar un sistema emisor de sonidos como un parlante o una bocina dentro del rostro del robot para mejorar los procesos de interacción, provocando que el usuario perciba, además de las respuestas visuales, las respuestas acústicas desde el robot.

Para el módulo de control, con respecto al sistema de detección de piezas, a pesar de que los rangos de detección para cada uno de los colores de la capa inferior de las piezas de ajedrez son funcionales en entornos cerrados y con iluminación constante, es recomendable agregar un sistema aislado para la casilla de reconocimiento, con una estructura que recubra las entradas o salidas de luz que utiliza el sensor de color TCS 3200 para la detección de colores.

Con respecto al módulo de estructura mecánica, es recomendable agregar aislantes magnéticos en los bordes de los imanes dentro de las piezas de ajedrez con materiales aislantes, para evitar que las polaridades iguales entre piezas de ajedrez provoquen que las piezas se repelan en el tablero de ajedrez, por la alta fuerza magnética que producen los imanes. De esta manera, se conserva el campo magnético suficiente para que los sensores magnéticos detecten la pieza.

El sistema es capaz de ser trasladado e implementado de manera portátil, sin embargo, es recomendable buscar alternativas para mejorar la comodidad del usuario. Se recomienda el uso de un sistema de comunicación inalámbrica entre los actuadores ubicados en la estructura del robot, y el tablero de ajedrez.

Para el módulo de enseñanza, para mejorar los procesos de aprendizaje, es recomendable determinar los mejores procesos pedagógicos para transmitir las instrucciones, advertencias y resultados a los niños entre los 6 y 9 años. Asimismo, se recomienda la evaluación de la presentación de la interfaz humano máquina (HMI) por parte de expertos en los procesos de aprendizaje de niños.

Para la construcción, con respecto al sistema electrónico del robot, a pesar de cumplir con los lineamientos y funciones establecidas, es recomendable que la placa PCB de grandes dimensiones, doble capa y gran tráfico de pistas eléctricas sea realizada de manera profesional, en lugar de realizarlo por procesos manuales; agregando buena precisión en las separaciones entre pistas, interconexiones metálicas

entre placas y mejorando el entorno de soldadura; de esta manera se eliminan dificultades en el proceso de fabricación e implementación.

Con respecto a la evaluación del usuario, a pesar de obtener un resultado satisfactorio del usuario para el cual fue realizado, sería recomendable extender la evaluación a un mayor número de niños en las edades de 6 a 9 años, lo cual no se pudo realizar por la situación de emergencia sanitaria actual.

### **Trabajos Futuros**

A partir del robot social interactivo para la enseñanza de ajedrez, se proponen los siguientes trabajos a futuro:

Se plantea el mejoramiento del sistema actual, mediante el acoplamiento de sistemas de aprendizaje profundo mediante la programación de estrategias de orden avanzado a partir de la información sobre la identificación y ubicación de las piezas de ajedrez. El sistema se propone a partir de herramientas pedagógicas que estructuren la metodología de aprendizaje adecuada, y el uso de repositorios de estrategias avanzadas de ajedrez, como aperturas, estrategias de medio juego y estrategias de cierre, con sus respectivas variantes; lo que permite la adaptación del robot niños de edades más avanzadas.

Se propone la implementación de una plataforma de visión artificial para la detección e identificación de piezas, de esta manera es posible adaptar el sistema a un gran número de tableros y piezas de ajedrez estándar. El sistema puede ser realizado mediante la implementación de una cámara en los ojos o en el rostro del robot; los datos obtenidos serán procesados mediante sistemas de visión artificial y procesamiento de imágenes donde se perciba formas, colores, posiciones y distancias para la detección de los datos de ubicación y tipo de pieza de ajedrez.

A partir de la detección de las piezas de ajedrez sobre un tablero estándar mediante visión artificial, se propone el diseño e implementación de un sistema autónomo de movimiento de piezas. El proyecto es capaz de alcanzar el proceso completo de interacción como un compañero de juego, realizando movimientos de las piezas con un brazo robótico. El sistema permite expandir el alcance del proyecto para la enseñanza especializada y la práctica simulada de ajedrez.

### Referencias bibliográficas

Abad, K. Y., Sánchez Delgado, M. A., Crespo Cedeño, J. E., & Alvarado Chang, J. E. (2017). Sistemas de reconocimiento en la robótica social. *Revista UNIANDES Episteme*, 4(3), 332-343.

Abras, C., Maloney-Krichmar, D., Preece, J., & others. (2004). User-centered design. Bainbridge, W. *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. Thousand Oaks: Sage Publications, 37(4), 445-456.

Aguilar, M. (2012). Aprendizaje y Tecnologías de Información y Comunicación: Hacia nuevos escenarios educativos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 10(2).

Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>

Baron, G.-L., & Denis, B. (1994). Robotique pédagogique, d'un colloque l'autre ; vers l'émergence d'une communauté scientifique ? *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 1(1), 109-112.

Barrera Lombana, N. (2015). Uso de la robótica educativa como estrategia didáctica en el aula. *Praxis & Saber*, 6(11), 215-234.

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>

Bilalić, M., Langner, R., Erb, M., & Grodd, W. (2010). Mechanisms and neural basis of object and pattern recognition: A study with chess experts. *Journal of Experimental Psychology. General*, 139(4), 728-742. <https://doi.org/10.1037/a0020756>

Borelli, E., Paolini, G., Antoniazzi, F., Barbiroli, M., Benassi, F., Chesani, F., Chiari, L., Fantini, M., Fuschini, F., Galassi, A., Giacobone, G. A., Imbesi, S., Licciardello, M., Loreti, D., Marchi, M., Masotti, D., Mello, P., Mellone, S., Mincoelli, G., ... Costanzo, A. (2019). HABITAT: An IoT Solution for Independent Elderly. *Sensors*, 19, 23. <https://doi.org/10.3390/s19051258>

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.

Bulsink, B. J. (2001). Device for detecting playing pieces on a board. Google Patents.

Caci, B., Cardaci, M., & Lund, H. H. (2003). Assessing educational robotics by the "Robot edutainment questionnaire". Technical report, The Maersk Mc-Kinney Moller Institute for Production Technology, University of Southern Denmark.

Danev, L., Hamann, M., Fricke, N., Hollarek, T., & Paillacho, D. (2017). Development of animated facial expressions to express emotions in a robot: RobotIcon. 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247472>

E., N., G, R., Escobar, L., & Loza, D. (2019). Development of a Social Robot NAR for Children's Education. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2, 357-368. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32033-1\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32033-1_33)

Educación 3.0. (2018, junio 15). Ajedrez Educativo: Estos son los beneficios del ajedrez en la educación. *EDUCACIÓN 3.0*. <https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/estos-son-los-beneficios-del-ajedrez-en-la-educacion/>

El Telégrafo. (2016, agosto 31). Los robots tienden puentes con los humanos. *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo*.

<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/septimo/1/los-robots-tienden-puentes-con-los-humanos>

Espinoza Erazo, N. A., Almeida Gallardo, R. P., & Loza Matovelle, D. C. (2018). Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2—5 años.

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14865>

Fernández-Castillo, A., & Ubago, A. M. S. (2016). Análisis de la empatía en educación infantil: Estudio basado en la expresión a través del dibujo. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 23, 9-26.

Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2003). A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 24.

Garaigordobil, M., & De Galdeano, P. G. (2006). Empatía en niños de 10 a 12 años. *Psicothema*, 18(2), 180-186.

Google Cloud Platform. (s. f.). Text-to-Speech: Conversión de texto a voz natural. Google Cloud Platform. Recuperado 14 de junio de 2021, de <https://cloud.google.com/text-to-speech?hl=es>

Hanson Robotics. (s. f.). Sophia. Hanson Robotics. Recuperado 15 de junio de 2021, de <https://www.hansonrobotics.com/sophia/>

Leite, I., Martinho, C., Pereira, A., & Paiva, A. (2009). As time goes by: Long-term evaluation of social presence in robotic companions. *RO-MAN 2009-The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 669-674.

Leite, I., Martinho, C., Pereira, A., & Paiva, A. (2008). iCat: An affective game buddy based on anticipatory mechanisms. *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 3*, 1229-1232.

Leite, I., & Pereira, A. (2007). Icat, the affective chess player. Proceedings of the systems demonstrations. Second international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII 2007), 29-33.

Mahmood, N. H., Che Ku Mohd Salahuddin Che Ku Long, Abd Ghani, I., & Sudirman, R. (2011). Low cost electronic chess set for chess tournament. 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, 123-126.  
<https://doi.org/10.1109/CSPA.2011.5759856>

Montañés, M. C., & Iñiguez, C. G. (2002). Emociones sociales: Enamoramiento, celos, envidia y empatía.

Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 19(2), 98-100.

Muñoz, D. (s. f.). Ajedrez educativo: Todo lo que hay que saber. TheZugzwangBlog. Recuperado 21 de febrero de 2020, de  
<https://thezugzwangblog.com/ajedrez-educativo/>

Norton, R. L. (s. f.). Diseño de máquinas. 1056.

Oros, L. B., & Fontana Nalesso, A. (2015). Niños socialmente hábiles: ¿Cuánto influyen la empatía y las emociones positivas?

Owens, G., Granader, Y., Humphrey, A., & Baron-Cohen, S. (2008). LEGO®Therapy and the Social Use of Language Programme: An Evaluation of Two Social Skills Interventions for Children with High Functioning Autism and Asperger Syndrome. Journal of Autism and Developmental Disorders, 38(10), 1944.  
<https://doi.org/10.1007/s10803-008-0590-6>

Papert, S. (1980). Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas.

Philips. (s. f.). Philips Research. Philips. Recuperado 12 de julio de 2021, de  
[http://www.research.philips.com/technologies/syst\\_softw/robotics/images/icat-1.jpg](http://www.research.philips.com/technologies/syst_softw/robotics/images/icat-1.jpg).

Robotrónica. (2015). Robot NAO. Aliverobots. <https://aliverobots.com/nao/>



Rodríguez, Y. D. (2011). Yoendrez: Software educativo para la enseñanza del ajedrez (original). Olimpia: Publicación científica de la facultad de cultura física de la Universidad de Granma, 8(28), 90-97.

Ruzafa, F. M. (2016). Emociones en robots sociales (tesis de pregado). Universidad Politécnica de Madrid.

Sanghvi, J., Castellano, G., Leite, I., Pereira, A., Mcowan, P., & Paiva, A. (2011). Automatic analysis of affective postures and body motion to detect engagement with a game companion. 305-312. <https://doi.org/10.1145/1957656.1957781>

Sastre-Riba, S. (2006). Condiciones tempranas del desarrollo y el aprendizaje: El papel de las funciones ejecutivas. Revista de neurología, 42(2), 143-151.

Sauro, J. (2011, febrero 3). Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS) – MeasuringU. <https://measuringu.com/sus/>

Soutullo, M. (2000). El Ajedrez en la escuela: Hacia una nueva forma de enseñar el ajedrez en las escuelas. Noveduc Libros.

Suárez Guerrero, C. (2003). La interacción cooperativa: Condición social de aprendizaje. Educación (Lima. 1992. En línea), 2003, vol. XII, num. 23, p. 79-100.

Tanaka, F., & Matsuzoe, S. (2012). Children teach a care-receiving robot to promote their learning: Field experiments in a classroom for vocabulary learning. Journal of Human-Robot Interaction, 1(1), 78-95. <https://doi.org/10.5898/JHRI.1.1.Tanaka>

Terrero, J. J. (2018, febrero 25). Robótica Social, una actividad más humana. Magazine Community of Insurance. <https://communityofinsurance.es/2018/02/25/robotica-social/>

The Lego Group. (s. f.). LEGO: Kit Mindstorms para niños. The Lego Group. Recuperado 11 de julio de 2021, de <https://www.lego.com/es-ar/campaigns/kids/mindstorms-kits-for-kids>

Trivedi, A., Gor, V., & Thakkar, Z. (2019). Chatbot generation and integration: A review. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 5(2), 1308-1311.

van Breemen, A., Yan, X., & Meerbeek, B. (2005). iCat: An animated user-interface robot with personality. *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, 143-144.

<https://doi.org/10.1145/1082473.1082823>

Whittier, L. E., & Robinson, M. (2007). Teaching Evolution to Non-English Proficient Students by Using Lego Robotics. *American Secondary Education*, 35(3), 19-28. JSTOR.

## **Anexos**

***Anexo A: Planos Mecánicos***

***Anexo B: Diagrama de conexión eléctrico***