



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PEDAGÓGICO
PARA LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA DEL ECUADOR**

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

CARLOS ANDRÉS VALENCIA HIDALGO

DIRECTOR: ING. PABLO VELARDE. PhD.

Quito, mayo 2020

© Universidad UTE. 2020

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718043563
APELLIDO Y NOMBRES:	CARLOS ANDRÉS VALENCIA HIDALGO
DIRECCIÓN:	PASAJE NICOLAS JIMENEZ N8-67
EMAIL:	c.andres.valencia.h@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	2044617
TELÉFONO MOVIL:	0996354490

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PEDAGÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA DEL ECUADOR
AUTOR O AUTORES:	CARLOS ANDRES VALENCIA HIDALGO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	26/05/2020
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	PhD. PABLO VELARDE
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El presente proyecto consistió en diseñar y construir un robot pedagógico que ayude en el aprendizaje de la geografía del Ecuador. Se usaron como referencia algunos robots existentes en el mercado enfocados a la educación. El software utilizado fue Netbeans en lenguaje JAVA, con esta información se definieron los objetivos y el alcance del proyecto.</p> <p>Para el diseño del proyecto se enlistaron los requerimientos necesarios para el robot, tomando en cuenta los objetivos, alcance y requerimientos de diseño. El proyecto cuenta con dos principales partes: una mecánica, la cual permite el movimiento de ojos, cuello y brazo derecho, para lo cual se debe utilizar servomotores controlados a través de un microcontrolador.</p> <p>Por otro lado, la parte de software que se muestra en una pantalla táctil, simula un juego que ayuda en el aprendizaje de las provincias del Ecuador y sus respectivas capitales; así como la información de flora y fauna mediante videos didácticos.</p>

La aplicación fue desarrollada en lenguaje JAVA y es la encargada de enviar las señales al microcontrolador para que remita los accionamientos correspondientes hacia los actuadores; y de esta manera el robot cumpla con los movimientos diseñados.

El modelado físico se lo realizó con una forma humanoide, para ello se utilizó dos softwares, para la parte mecánica Solidwork y para la parte orgánica Zbrush. La construcción de la estructura se la realizó con PLA mediante impresión 3D.

A continuación, se ensamblaron todas sus partes para poder hacer pruebas de funcionamiento de la aplicación, de repuesta del touch de la pantalla LCD y de tiempos de respuesta de los actuadores.

Finalmente, se formularon conclusiones y recomendaciones con base en los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para verificar el cumplimiento de los objetivos y alcance.

PALABRAS CLAVES:

Microcontrolador, aplicación, software, pantalla táctil, servomotor.

ABSTRACT:

The following project consisted in the design and construction of a pedagogical robot to assist in the learning of the Ecuadorian geography. Used as reference some existing robots in the field of education. The software chosen was Netbeans in JAVA language. Based on this information, the objectives and reach of the project were defined.

In order to design the project, the requirements for the robot were defined, considering the objectives, reach and design specifications. The project has two main parts: one mechanical, which allows the movement of eyes, neck and right arm, using servo motors controlled by a microcontroller.

On the other hand, a software part that is shown on a touch screen, simulates a game that helps in the learning of the different provinces of Ecuador and their respective capitals; as well as the information of flora and fauna through didactic videos.

The application was developed in JAVA language and is responsible of sending signals to the microcontroller, so that it sends the corresponding actions to the actuators; and thus, the robot accomplishes the designed movements.

KEYWORDS	<p>The physical modeling was made using a humanoid form, to do this two different software were used, for the mechanical part Solidwork and for the organic part Zbrush.</p> <p>In the construction of the robot, PLA was used for 3D printing. Afterwards, all its components were assembled to test the application's operation, the display's reply to the LCD touch screen and the actuators' response times.</p> <p>Finally, conclusions and recommendations were formulated from the results obtained during the tests carried out to check the fulfilment of the objectives and reach.</p>
	<p>Microcontroller, application, software, touch screen, servo motor.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



CARLOS ANDRÉS VALENCIA HIDALGO
171804356-3

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CARLOS ÁNDRES VALENCIA HIDALGO**, CI 171804356-3 autor del proyecto titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PEDAGÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA DEL ECUADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 26 de mayo de 2020



CARLOS ANDRÉS VALENCIA HIDALGO
171804356-3

DECLARACIÓN

Yo, **Carlos Andrés Valencia Hidalgo**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Carlos Andrés Valencia Hidalgo
C.I. 171804356-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño y construcción de un robot pedagógico para la enseñanza de la geografía del Ecuador**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Carlos Andrés Valencia Hidalgo** bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Pablo Velarde, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1718907478

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Robótica lúdica	6
1.1.1 Robots utilizados para la educación.....	7
1.1.1.1 Bee bot	7
1.1.1.2 Kibo robot	8
1.1.1.3 Luka.....	8
1.1.1.4 Coji	9
1.1.1.5 Sanbot	9
1.1.1.6 Aisoy 1 kik	10
1.2 Software de programación	11
1.2.1 Sistema operativo	11
1.2.2 Java	11
1.2.3 Netbeans	12
1.3 Objetivos del proyecto.....	12
1.3.1 Objetivo General:	12
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	12
1.4 Alcance	12
2. Metodología y diseño	14
2.1 Requerimientos	14
2.2 Diseño general del sistema	15
2.3 Diseño específico del sistema	17
2.3.1 Diseño del circuito.....	17
2.3.2 Diseño del programa.....	21
2.3.2.1 Interfaz Gráfica	24
2.3.3 Diseño de la estructura	26
3. Resultados y discusión	30
3.1 Pruebas de funcionamiento.....	31
3.1.1 Prueba pantalla táctil	32
3.1.2 Funcionamiento de la aplicación	32

3.1.3 Funcionamiento de los servomotores.....	34
3.1.4 Tiempo de respuesta	35
4. Conclusiones y recomendaciones	38
Conclusiones	36
Recomendaciones	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. BEE BOT	7
Figura 2. KIBO ROBOT	8
Figura 3. LUKA	9
Figura 4. COJI	9
Figura 5. SANBOT	10
Figura 6. AISOY 1 KIK	10
Figura 7. Mapa conceptual partes sistema operativo.	11
Figura 8. Metodología en V	14
Figura 9. Diagrama de requerimientos.	15
Figura 10. Diagrama de componentes del robot.	16
Figura 11. Diagrama de la estructura general.	16
Figura 12. Ensamble del robot pedagógico.	17
Figura 13. Circuito del Sistema.	20
Figura 14. Diagrama de conexiones.....	21
Figura 15. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica.	22
Figura 16. Diagrama de flujo se sistema mecánico.	23
Figura 17. Diagrama de flujo se sistema mecánico de ojos del robot.	24
Figura 18. Pantalla de ingreso de nombre de usuario.	25
Figura 19. Pantalla de regiones del Ecuador.....	25
Figura 20. Pantalla de elección flora/fauna.	26
Figura 21. Vistas de brazos modelados en Zbrush.	27
Figura 22. Vistas de piernas modeladas en Zbrush.	28
Figura 23. Vista explosionada de estructura de robot.	28
Figura 24. Ensamble de estructura del robot.....	25
Figura 25. Conexiones internas de todo el sistema del robot pedagógico. ...	26
Figura 26. Pantalla elección de idioma.....	27
Figura 27. Pantalla de ingreso de nombre.	28
Figura 28. Pantalla elección de región.	28
Figura 29. Pantalla elección de provincia región costa.....	29
Figura 30. Pantalla elección de provincia región sierra.	29
Figura 31. Pantalla elección de provincia región amazónica.	30
Figura 32. Pantalla elección capital correcta.	31
Figura 33. Pantalla elección Flora/Fauna.....	31
Figura 34. Porcentaje de lecturas de pantalla táctil.	32
Figura 35. Verificación de funcionamiento de teclado.	33
Figura 36. Verificación de reproducción de videos.	34
Figura 37. Verificación de respuesta de actuadores.....	35
Figura 38. Diagrama de medida de tiempos de respuesta.	37

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Tabla de comparación de microprocesadores.	18
Tabla 2. Pesos y torques de partes móviles.	19
Tabla 3. Tabla de comparación de Servomotores.	19
Tabla 4. tabla de comparación de mini servomotores.....	19
Tabla 5. Elementos electrónicos del circuito.....	20
Tabla 6. Dimensiones del robot pedagógico.....	29
Tabla 7. Resultados de tiempo de respuesta.....	36

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 001 Planos tapa superior cabeza robot.....	40
Anexo 002 Planos tapa frontal pecho robot	41
Anexo 003 Planos tapa trasera pecho robot	42
Anexo 004 Planos tapa inferior cabeza robot.....	43
Anexo 005 Planos soporte para acoplar servomotores a la estructura.....	44

RESUMEN

El presente proyecto consistió en diseñar y construir un robot pedagógico que ayude en el aprendizaje de la geografía del Ecuador. Se usaron como referencia algunos robots existentes en el mercado enfocados a la educación. El software utilizado fue Netbeans en lenguaje JAVA, con esta información se definieron los objetivos y el alcance del proyecto.

Para el diseño del proyecto se enlistaron los requerimientos necesarios para el robot, tomando en cuenta los objetivos, alcance y requerimientos de diseño. El proyecto cuenta con dos principales partes: una mecánica, la cual permite el movimiento de ojos, cuello y brazo derecho, para lo cual se debe utilizar servomotores controlados a través de un microcontrolador.

Por otro lado, la parte de software que se muestra en una pantalla táctil, simula un juego que ayuda en el aprendizaje de las provincias del Ecuador y sus respectivas capitales; así como la información de flora y fauna mediante videos didácticos.

La aplicación fue desarrollada en lenguaje JAVA y es la encargada de enviar las señales al microcontrolador para que remita los accionamientos correspondientes hacia los actuadores; y de esta manera el robot cumpla con los movimientos diseñados.

El modelado físico se lo realizó con una forma humanoide, para ello se utilizó dos softwares, para la parte mecánica Solidwork y para la parte orgánica Zbrush. La construcción de la estructura se la realizó con PLA mediante impresión 3D.

A continuación, se ensamblaron todas sus partes para poder hacer pruebas de funcionamiento de la aplicación, de repuesta del touch de la pantalla LCD y de tiempos de respuesta de los actuadores.

Finalmente, se formularon conclusiones y recomendaciones con base en los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para verificar el cumplimiento de los objetivos y alcance.

Palabras claves: Microprocesador, aplicación, software, pantalla táctil, servomotor.

ABSTRACT

The following project consisted in the design and construction of a pedagogical robot to assist in the learning of the Ecuadorian geography. Used as reference some existing robots in the field of education. The software chosen was Netbeans in JAVA language. Based on this information, the objectives and reach of the project were defined.

In order to design the project, the requirements for the robot were defined, considering the objectives, reach and design specifications. The project has two main parts: one mechanical, which allows the movement of eyes, neck and right arm, using servo motors controlled by a microcontroller.

On the other hand, a software part that is shown on a touch screen, simulates a game that helps in the learning of the different provinces of Ecuador and their respective capitals; as well as the information of flora and fauna through didactic videos. The application was developed in JAVA language and is responsible of sending signals to the microcontroller, so that it sends the corresponding actions to the actuators; and thus, the robot accomplishes the designed movements.

The physical modeling was made using a humanoid form, to do this two different software were used, for the mechanical part Solidwork and for the organic part Zbrush. In the construction of the robot, PLA was used for 3D printing. Afterwards, all its components were assembled to test the application's operation, the display's reply to the LCD touch screen and the actuators' response times.

Finally, conclusions and recommendations were formulated from the results obtained during the tests carried out to check the fulfilment of the objectives and reach.

Keywords: Microcontroller, application, software, touch screen, servomotor.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchos de los estudiantes de educación primaria presentan dificultades en el aprendizaje, según estudio al menos 6% de estudiantes de entre 4 y 17 años pudieran ser diagnosticados con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) o disfunción ejecutiva (Rosero M., 2018).

La pedagogía tradicional se ha ido modificando, adaptándose a las nuevas tecnologías que llegan con el pasar del tiempo, por esta razón se han empezado a utilizar robots como ayuda para la enseñanza, sobre todo para niños en la etapa de educación básica que son los que más problemas tienen en el aprendizaje (Muñoz, Andrade, & Londoño, 2011).

La robótica es una de las nuevas tecnologías que facilita la adquisición de conocimientos. Los robots lúdicos que se han creado utilizan principios de interactividad, creatividad, enfoque didáctico, entre otros. Permiten a los estudiantes adquirir destrezas computacionales y desarrollo de pensamiento lógico al mismo tiempo (Guerrero, Páez, & Roldán, 2013).

Uno de los problemas que se ha identificado con relación al aprendizaje en Ecuador, ha sido en el tema de los estudios sociales; de acuerdo con los resultados de la evaluación Ser Estudiante realizados por el Instituto Nacional de Evaluación (INEVAL) existe apenas un 50 % de estudiantes de cuarto año de educación básica que alcanzan el nivel elemental de conocimientos de esta área de conocimiento (INEVAL, 2018); por esta razón se plantea la creación de un robot pedagógico "PACHA" que ayudará a niños de entre cuatro y diez años de edad con el aprendizaje de una parte de esta área, el cual mediante un juego interactivo mostrará provincias y capitales del Ecuador, con información adicional de fauna y flora.

1.1 ROBÓTICA LÚDICA

Los robots en el área lúdica son utilizados como herramientas físicas para ayudar a los estudiantes a adquirir diferentes destrezas en conjunto, principalmente mediante juegos o actividades de destrezas. Para que exista un mejor aprendizaje mediante robots, la interacción niño-robot debe ser física y lógica: de forma física mediante el juego, la manipulación y de forma lógica cuando el niño resuelve el problema planteado, realiza una secuencia de acciones, que son instrucciones para que el robot discrimine la validez de las respuestas dudas.

Los niños captan de mejor manera los conocimientos con base en experiencias, éstas se adquieren a través de juegos, creando y experimentando (Acevedo, Caicedo, & Ferney, 2019).

La robótica lúdica permite que los niños puedan explorar, crear nuevos diseños y experimentar con ellos, con esto obtienen una experiencia de aprendizaje personalizada.

Dada la versatilidad de la robótica lúdica, se hallan aplicaciones en áreas como la matemática, lenguaje, programación, entre otras (Catlin D. & Blamires M., 2010). En el caso de "PACHA" se centra en el área de la geografía. Estos robots se muestran interesantes para los niños, manteniendo su atención por periodos de tiempo más largos que los métodos habituales de enseñanza.

Estos robots pueden ser utilizados también en el aula de clase, donde pueden ser aprovechados para el desarrollo narrativo, artístico y musical.

Los robots lúdicos deben ser diseñados tal que el usuario, en este caso los niños, obtengan verdaderas experiencias que ayuden al aprendizaje de determinada temática. Según Dave Catlin y Mike Blamires la elaboración de este tipo de robot debe contar con tres dimensiones: tecnología, estudiante y docente (Catlin D. & Blamires M., 2010).

1.1.1 ROBOTS UTILIZADOS PARA LA EDUCACIÓN

1.1.1.1 BEE BOT

Este es un robot programable que cuenta con una forma de abeja como se observa en la Figura 1, se utiliza para secuenciar movimientos a través de comandos, no está diseñado para un rango de edad en específico. Este robot cuenta con 6 botones de dirección, los cuales harán que este mismo se desplace al lugar que el usuario desee, comúnmente es utilizado para introducir a los niños a la robótica, pero puede ser utilizado en distintas áreas de estudio según como el docente diseñe su programa curricular (Bee-bot.us, 2018).



Figura 1. BEE BOT
(Bee-bot.us, 2018)

1.1.1.2 KIBO ROBOT

Su apariencia es como si su diseño físico no hubiera sido culminado, el objetivo de este diseño es que los niños al ver esta apariencia quieran completarlo con las distintas partes con que este robot viene incluido, inspirándolos a darle distintas apariencias y desarrollando así la imaginación de los niños junto con sus destrezas creativas y artísticas, como se indica en la Figura 2.

Este robot cuenta con sensores de sonido, luces y distancia; KIBO fue desarrollado por Kinderlabs Robotics, las instrucciones vienen representadas en cubos de madera con distintas imágenes y colores, este robot cuenta con un lector de barras el cual es el medio por donde las instrucciones de programación son ingresadas.

Viene en dos presentaciones; la presentación básica, la cual incluye el robot, 2 motores, 2 ruedas y 10 cubos de madera en los cuales se encuentran las instrucciones y 4 cartas en donde se encuentran los parámetros; la segunda presentación incluye además sensores de luz, de movimiento y de sonido, 14 cubos más de instrucciones, módulo de arte, módulo de bombillo y 12 cartas de parámetros (Da Silva, González, & Congreso internacional de video juegos y educación, 2017).



Figura 2. KIBO ROBOT
(«Robot Kits For Kids | KIBO», 2020)

1.1.1.3 LUKA

Es robot capaz de narrar cuentos que fueron pregrabados con anterioridad y se los almacena en una nube; tiene el diseño similar al de un búho como se muestra en la Figura 3. Este robot posee una cámara frontal que es la encargada de reconocer el cuento con solo colocar la portada frente a la

cámara lo interesante de este robot es que puede narrar los cuentos en tres idiomas distintos: inglés, español y chino (lukalector.com,2019).



Figura 3. LUKA
(lukalector.com,2019)

1.1.1.4 COJI

Este robot cuenta con emoticones en su pantalla, mediante estos el robot puede ser programado de una manera más entretenida y educativa para los niños. Aprenderán a programar sin darse cuenta. Su diseño es similar a la de un robot bípedo mostrado en la Figura 4 para niños de aproximadamente 6 años de edad («COJI by WowWee® - Learn to code with a smile(y)», 2020).



Figura 4. COJI
(«COJI by WowWee® - Learn to code with a smile(y)», 2020).

1.1.1.5 SANBOT

Este robot simula ser un alumno más, contiene 60 sensores y una cámara 3D, la cual sirve para leer los gestos y acciones del usuario; SANBOT se muestra en la Figura 5 y se utiliza para tener un enfoque dentro del aula como si fuera un alumno, de esta manera se pueden observar los problemas que existe en la metodología de enseñanza, puede también mantener conversaciones, aunque por el momento estas son solo básicas («SANBOT», 2019).



Figura 5. SANBOT
(«SANBOT», 2019).

1.1.1.6 AISOY 1 KIK

Este robot cuenta con tres sensores de tacto que se recopila información del entorno, cuenta también con un acelerómetro, un micrófono y una cámara que puede detectar rostros. Tiene un diseño similar a un cachorro como lo muestra la Figura 6; el objetivo de AISOY 1 KIK es el de acercarse a los niños que tienen dificultades para expresar sus emociones, es usado para personas que sufren de autismo o algún otro daño cerebral (AISOY, 2019).



Figura 6. AISOY 1 KIK
(AISOY, 2019).

En la actualidad existen muchos más robots enfocados en el tema de la enseñanza-aprendizaje, ya que los niños que han utilizado estos dispositivos han tenido un mayor aprendizaje y concentración, anteriormente solo se mostraron algunos de los dispositivos más conocidos en el mercado.

1.2 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

Un software es un conjunto de programas e instrucciones que se utilizarán para controlar un hardware, la palabra software significa “mercancía suave”.

1.2.1 SISTEMA OPERATIVO

El computador se enciende con un sistema de entrada/salida básico (BIOS) de lo que se encarga el sistema operativo es de controlar la parte física de un ordenador después de BIOS, este software facilita el acceso y asegura el hardware del computador, se encarga de actuar como intermediario entre el usuario y el computador. Para los ordenadores se encuentran 3 tipos de sistemas operativos:

- Microsoft Windows.
- Mac OS x
- Linux

En la Figura 7 se muestra las partes de un sistema operativo.

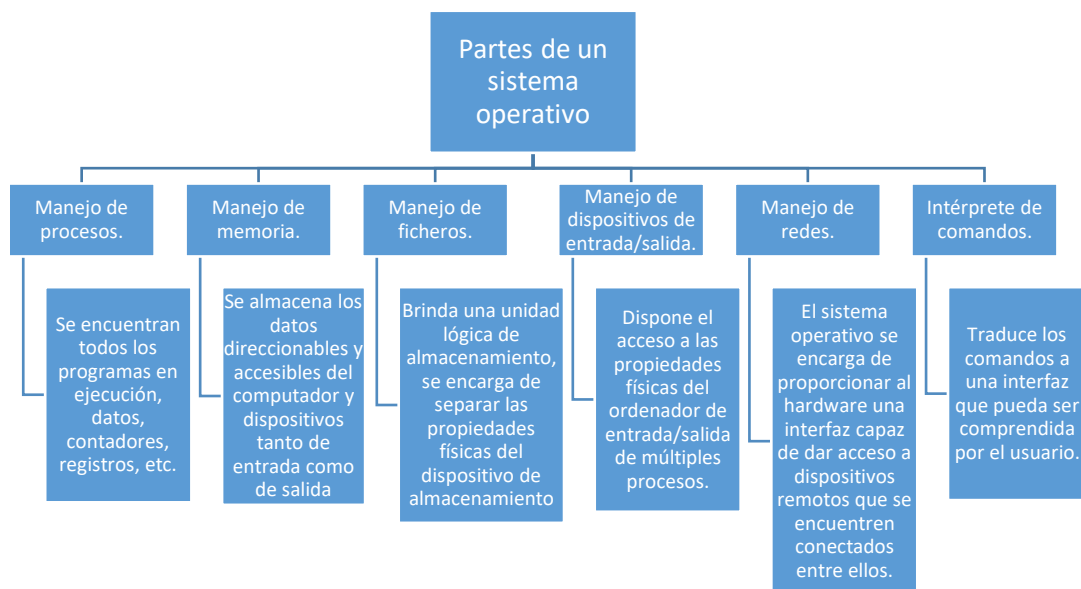


Figura 7. Mapa conceptual partes sistema operativo.

1.2.2 JAVA

Es un lenguaje de programación orientado a objetos lanzado en el año de 1995, fue desarrollado en la empresa Sun Microsystems, por James Gosling, Patrick Naughton, Chris Warth, Ed Frank y Mike Sheridan en 1991; es uno de los lenguajes más utilizados a nivel mundial, cuenta con una poderosa biblioteca, es de sintaxis simple, portátil y posee un gran conjunto de plataformas compatibles.

Su sintaxis se deriva del lenguaje C y C++; una de las principales ventajas de JAVA es que las aplicaciones con compiladas a bytecode, estas pueden ser ejecutadas en cualquier máquina virtual.

1.2.3 NETBEANS

Es un entorno de desarrollo integrado libre, completo y profesional, es un proyecto de código abierto, contiene muchas funcionalidades, las aplicaciones en netbeans se desarrollan de un conjunto de componentes de software, estos son llamados módulos. En netbeans se pueden desarrollar un sin número de aplicaciones, ya que este facilita la programación de una manera bastante considerable. Netbeans incorpora un editor propio en donde las aplicaciones pueden ser extendidas con facilidad por otros desarrolladores solo agregando módulos, ya que los módulos pueden ser creados independientemente. Netbeans además facilita la prueba y la depuración de las aplicaciones que se desarrollan en este entorno.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL: Diseñar y construir un robot pedagógico para la enseñanza de la geografía del Ecuador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar los métodos de aprendizaje que ayuden a los estudiantes a aprender contenidos con mayor facilidad.
- Determinar y diseñar el mecanismo para el movimiento de la cabeza, ojos y extremidades superiores del robot.
- Determinar y diseñar los componentes electrónicos del dispositivo.
- Programar el funcionamiento lógico del robot para que garantice el aprendizaje a los estudiantes.
- Validar el funcionamiento del robot construido mediante la realización de pruebas.

1.4 ALCANCE

Se diseñará y construirá un robot pedagógico que ayude a los niños que estén en edades entre cuatro y diez años o que se encuentren cursando los niveles entre primero y sexto año de educación básica; debido a que en estas edades se presenta el mayor porcentaje de déficit de atención. La estructura del robot va a tener características humanoides en posición sedente. En el abdomen del robot se va a instalar una pantalla táctil de siete pulgadas en la cual el estudiante podrá interactuar con las diferentes actividades que contará el robot. El sistema mecánico del robot constará de tres principales movimientos:

en los ojos para simular una interacción semejante al bulbo ocular del ser humano; el cuello realizará movimientos de rotación simulando un gesto de negación; el brazo derecho del robot se encontrará en posición de extensión y cuando exista un acierto el brazo derecho del mismo realizará un movimiento de flexión. En la pantalla de 7" se mostrarán las opciones de idioma español o inglés, seguido de esto aparecerá un teclado alfanumérico para que el usuario ingrese su nombre y pueda acceder a las siguientes actividades: la primera actividad consistirá en escoger una de las cuatro regiones del Ecuador, seguido de esto se elegirá una provincia de la región escogida, luego de esto el usuario deberá acertar la capital entre las opciones mostradas, una vez acertada la capital se mostrará en la pantalla las opciones de flora y fauna de la misma provincia, escogida una de las dos opciones se reproducirá un video informativo de las mismas. En el caso de que no se acierte la respuesta el robot realizará un gesto de negación y la aplicación dará una nueva oportunidad para acertar la respuesta. La máquina contará con microprocesador, microcontroladores y servomotores que ayudarán con el funcionamiento de todo el sistema.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

La metodología de diseño mecatrónico utilizada en la investigación para el desarrollo del siguiente proyecto consistió en el análisis de todos los requerimientos planteados para que el usuario que en este proyecto son los niños de edad entre 4 y 10 años puedan comprender y utilizar de forma adecuada el robot.

La Figura 8 muestra la metodología que se utilizó en el diseño y construcción del proyecto.

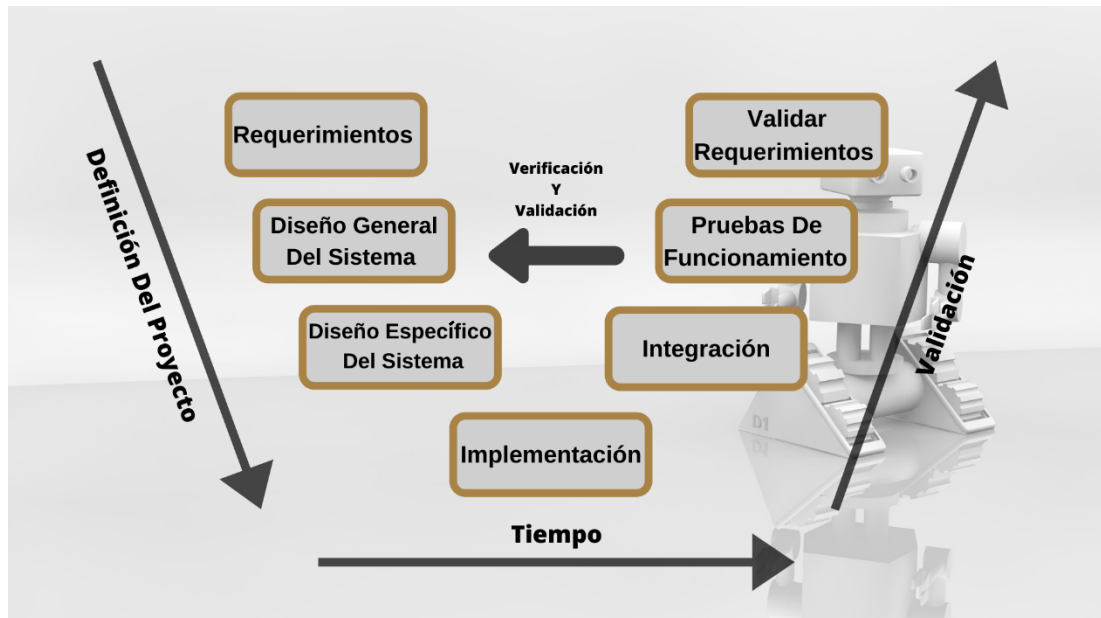


Figura 8. Metodología en V.

2.1 REQUERIMIENTOS

A continuación, se enumeran los requerimientos establecidos para el diseño y construcción del robot pedagógico:

- El dispositivo debe tener una estructura que con dimensiones máximas de 120cm de alto, 50cm de ancho, y 30cm de profundidad.
- El sistema contará con movimientos de rotación izquierda y derecha en el cuello y de extensión y flexión en la extremidad superior derecha, y movimientos en los ojos simulando un bulbo ocular.
- Debe contar con una pantalla táctil de 7" en la que se reproducirán videos y juegos para que el usuario interactúe con la aplicación diseñada.
- La aplicación debe ser diseñada con información para el apoyo del aprendizaje de las provincias y capitales del Ecuador.

En la Figura 9 se muestra el diagrama con los requerimientos planteados anteriormente.

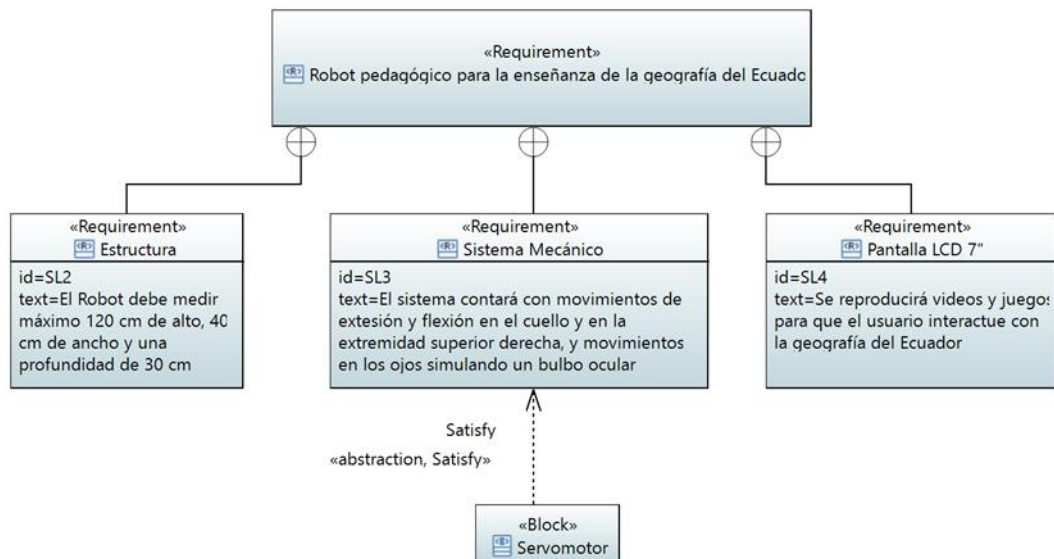


Figura 9. Diagrama de requerimientos.

2.2 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

La integración de los componentes vendrá colocada en la estructura sólida del robot, los componentes a integrarse son:

- Servomotores.
- Microprocesador.
- Microcontroladores.
- Pantalla táctil de 7"
- Fuente de alimentación DC.
- Cables de conexión.

La Figura 10 muestra el diagrama de bloques del robot pedagógico, en este se indica la integración de los componentes electrónicos y mecánicos del sistema.

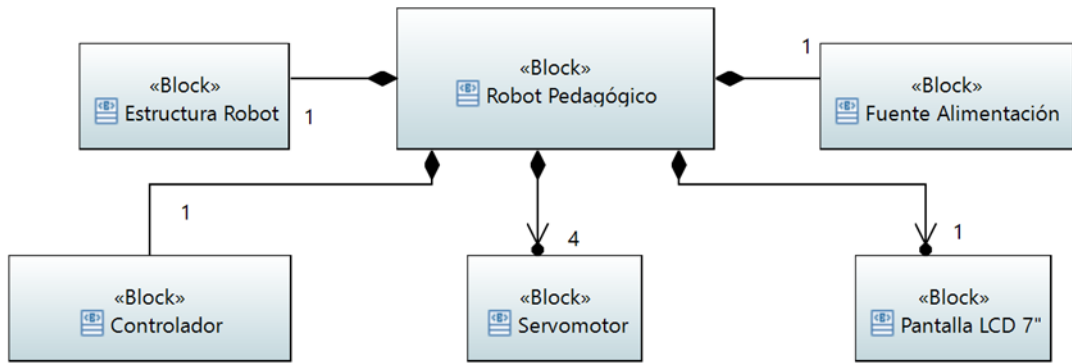


Figura 10. Diagrama de componentes del robot.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de bloques de la estructura del robot, en el cual se indican todas sus extremidades que formaran parte de este.

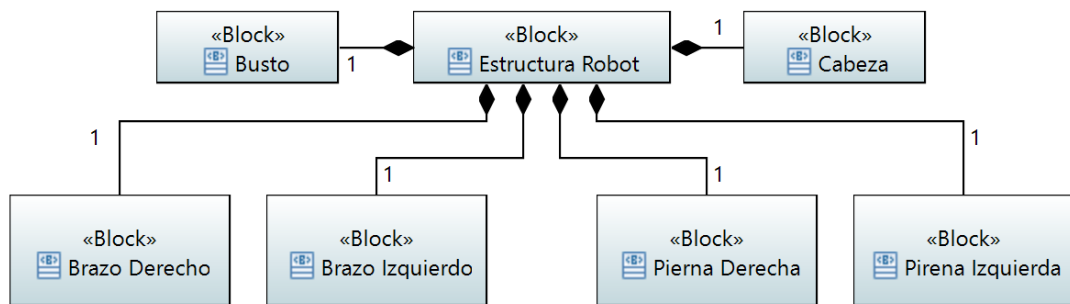


Figura 11. Diagrama de la estructura general del robot.

En la Figura 12 se observa el diagrama interno de bloques, en el mismo que se detallan todas las conexiones internas del robot, tanto de la parte electrónica como la parte mecánica.

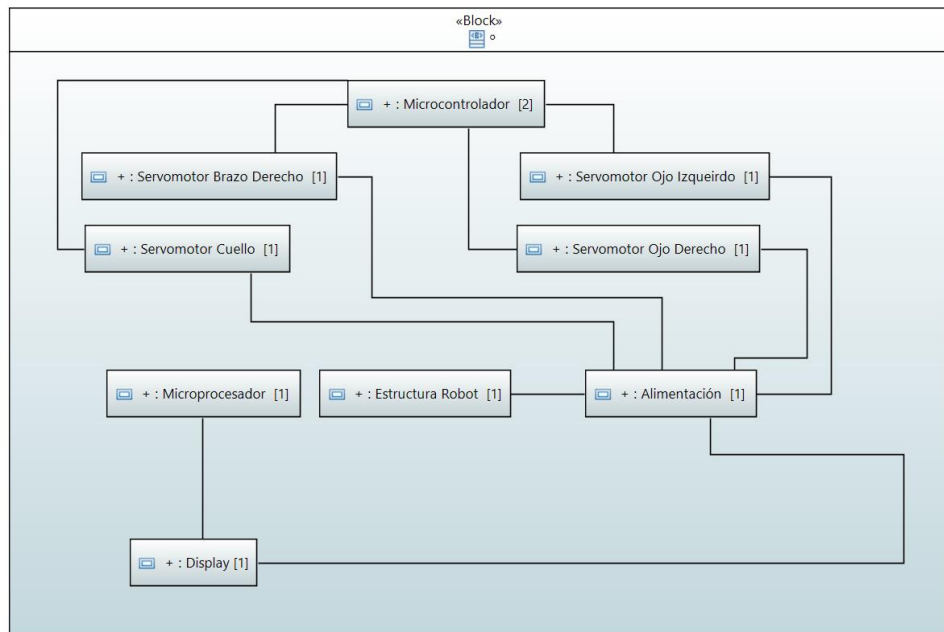


Figura 12. Ensamble del robot pedagógico.

2.3 DISEÑO ESPECÍFICO DEL SISTEMA

2.3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO

Para lograr un circuito completamente funcional se tomaron en cuenta todos los componentes ideales escogidos para el funcionamiento del robot. Debido a que la aplicación cuenta con una interfaz gráfica que incluye videos y audios se optó por elegir una Tablet PC que cuenta con un sistema operativo Windows 10, dos puertos USB y un puerto HDMI en donde se conecta una pantalla táctil de 7"; y dos microcontroladores, los que se encargarán de controlar los actuadores de brazo, cuello y ojos.

El programa del sistema realiza dos llamados uno para el movimiento de brazo y uno para el movimiento del cuello, adicional a esto fue necesario programar una sección de código para el movimiento de los ojos, al verificar esta programación con un solo Arduino se obtuvo como resultado interferencia en el programa que no permitían el correcto funcionamiento del sistema. Por esta razón se tomó como solución a este problema utilizar dos Arduinos diferentes.

Se escogió un Arduino Nano para los actuadores de los ojos por las dimensiones de este microcontrolador, debido a que la cabeza debe tener un tamaño simétrico al cuerpo del robot, si la cabeza se la hace de mayor tamaño, el cuerpo también aumentaría su tamaño, lo que haría que no se cumpla con uno de los requerimientos; el sistema de movimiento de los ojos ocupa la mayor parte del área interior de la cabeza por lo tanto se necesita un microcontrolador pequeño, además que para la función que deberá cumplir un

Arduino Nano tiene las características necesarias; y para el control de los actuadores de brazo y cuello se utilizó un microcontrolador Arduino UNO.

Se realizó la comparación de dos posibles opciones de microprocesadores con los que se podía realizar el proyecto, uno de ellos el microprocesador que posee una Tablet PC RCA y el microprocesador de una raspberry Pi3, la opción elegida se muestra en la Tabla 1 marcada en color celeste. La misma que se escogió por su capacidad en la RAM y por la frecuencia de reloj, ya que esta última es el número de ciclos que el procesador ejecuta por segundos, esto ayuda a la capacidad de realizar las tareas con mayor fluidez, debido a que la aplicación cuenta con 48 videos en alta definición de 25 MB cada uno aproximadamente, que ocupan un mayor espacio de memoria y para que la aplicación se reproduzca sin interrupciones se ha escogido un procesador con mayor RAM y frecuencia de reloj.

Tabla 1. Tabla de comparación de microprocesadores.

TABLA COMPARATIVA DE MICROPROCESADORES			
Microprocesador	RAM	Conectividad	Frecuencia de reloj
Intel Atom (TabletPC RCA)	2 GB	2 USB 3.0, HDMI	2,4GHz
Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) (Raspberry Pi3)	1 GB LPDDR2 SDRAM	4 USB 2.0 HDMI	1,4GHz

Para la aplicación se utilizó una pantalla LCD táctil de 7", esta fue escogida con base en las dimensiones del tórax del robot, ya que va incrustada en esta parte. No se utilizó la pantalla de la PC Tablet ya que las medidas de esta son mayores lo que produciría que el robot tenga un tamaño más grande, excediendo las medidas máximas establecidas en uno de los requerimientos. En esta pantalla se mostrará la interfaz completa de la aplicación, y la PC Tablet se la utiliza como el microprocesador de todo el sistema.

El circuito del robot se diseñó con los siguientes elementos: una Tablet RCA con un microprocesador Intel Atom de una RAM de 2 GB, pantalla LCD táctil de 7", Arduino Uno para los movimientos del brazo derecho y el cuello, Arduino Nano para la simulación del movimiento de los bulbos oculares y cuatro servomotores en todo el sistema.

En la Tabla 2 se muestran los pesos y sus torques basados en las masas de cada parte móvil del robot, es decir la extremidad superior derecha y la cabeza.

Tabla 2. Pesos y torques de partes móviles.

Parte móvil	Peso	Torque
E. superior derecha	500 g	1.421 Nm
Cabeza	1350 g	1.3891 Nm

Para la selección de los servomotores para la cabeza y la extremidad superior se realizó la comparación de tres servomotores que se hallan en el mercado, como se observa en la Tabla 3, la elección se la tomó con base en los torques necesarios y sus precios, la opción escogida se la muestra resaltada en color celeste.

Tabla 3. Tabla de comparación de Servomotores.

Servomotor	Torque en Kg-cm	Torque en Nm	Precio
Mg996	12	1.1767	\$ 11
Mg995	15	1.471	\$ 11
Sm-S4315	15	1.471	\$ 30

El mecanismo de movimiento de los ojos también cuenta con dos servomotores, se compararon dos servomotores existentes en el mercado, eligiendo el de menor dimensión y costo. En este caso no se tomaron en cuenta los torques, ya que las masas que mueven estos son muy pequeñas, como se muestra marcada de color celeste en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de comparación de mini servomotores.

Servomotor	Dimensiones	Precio
MG90S	22.5 x 12 x 35.5 mm	\$ 6
SG90	22.0 x 11.5 x 27 mm	\$ 3

En la Tabla 5 se muestran los voltajes y corrientes que necesitan los elementos del proyecto.

Tabla 5. Elementos electrónicos del circuito.

Dispositivo	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Alimentación
Arduino uno (AU)	5	500	Tablet PC
Arduino nano (AN)	7 – 12	500	Fuente externa
Servomotor MG995 (M)	4.8 – 7.2	500 – 900	Fuente externa
Servomotor SG90 (m)	4 – 7.2	150 – 250	Arduino nano

En la Figura 13 se indica el esquema del circuito del cual se obtiene los resultados de las corrientes máxima y mínima necesarias. Los elementos por considerarse en el circuito son: dos servomotores MG995, Arduino NANO.

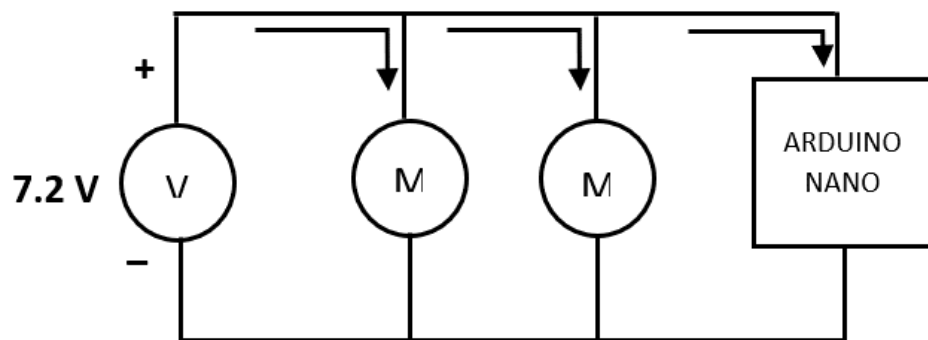


Figura 13. Circuito del Sistema.

$$\begin{aligned}
 I_{Tmin} &= 2 * I_M + I_{AN} \\
 I_{Tmin} &= 2 * 500 + 500 \\
 I_{Tmin} &= 1500 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{Tmax} &= 2 * I_M + I_{AN} \\
 I_{Tmax} &= 2 * 900 + 500 \\
 I_{Tmax} &= 2300 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

La fuente utilizada para el sistema fue de 7.2 V para lograr el funcionamiento de los actuadores con una corriente entre 1.5 A y 2.3 A.

En la Figura 14 se muestran las conexiones de los controladores y actuadores para el sistema mecánico.

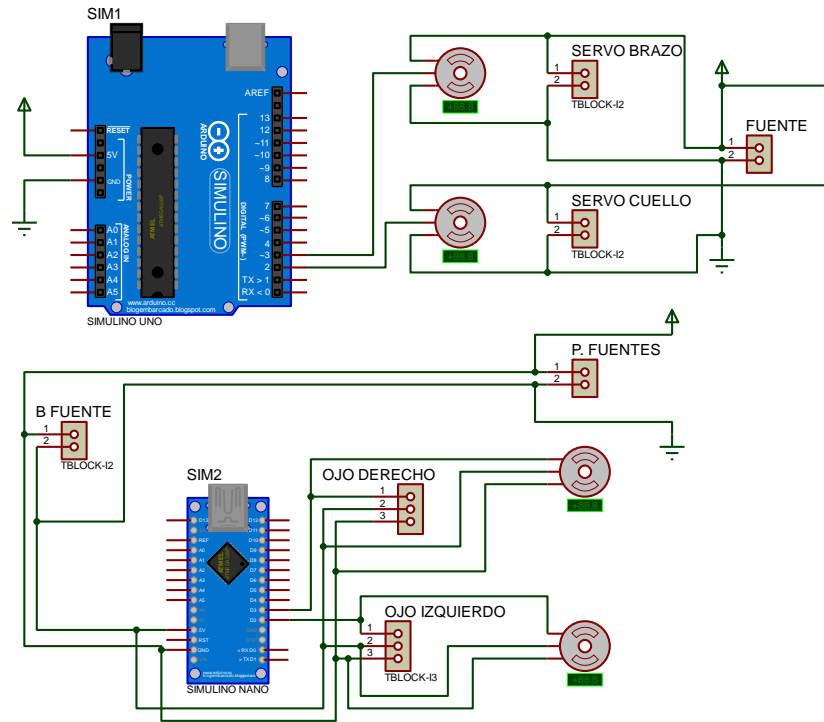


Figura 14. Diagrama de conexiones.

2.3.2 DISEÑO DEL PROGRAMA

El funcionamiento del sistema fue desarrollado en lenguaje JAVA mediante el software NetBeans en el sistema operativo Windows 10. A continuación, en las Figuras 15, 16 y 17 se muestran los respectivos diagramas de flujo de funcionamiento.

En la Figura 15 se observa la lógica completa del programa, iniciando con una pantalla donde se debe elegir el idioma, en esta se cuenta con dos opciones: español e inglés. A continuación, aparecerá otra pantalla donde se debe ingresar el nombre del usuario para posteriormente elegir una de las provincias del territorio ecuatoriano. En el caso que el usuario acierte la capital de la provincia escogida aparecerá una nueva pantalla, la cual contará con dos opciones una para reproducir un video acerca de la fauna de la provincia elegida y una segunda opción que mostrará un video de la flora de la misma provincia. Una vez finalizado el video de la opción escogida, se reproducirá automáticamente un video de la opción no seleccionada, para complementar el aprendizaje del usuario, seguido de esto el programa se reinicializa.

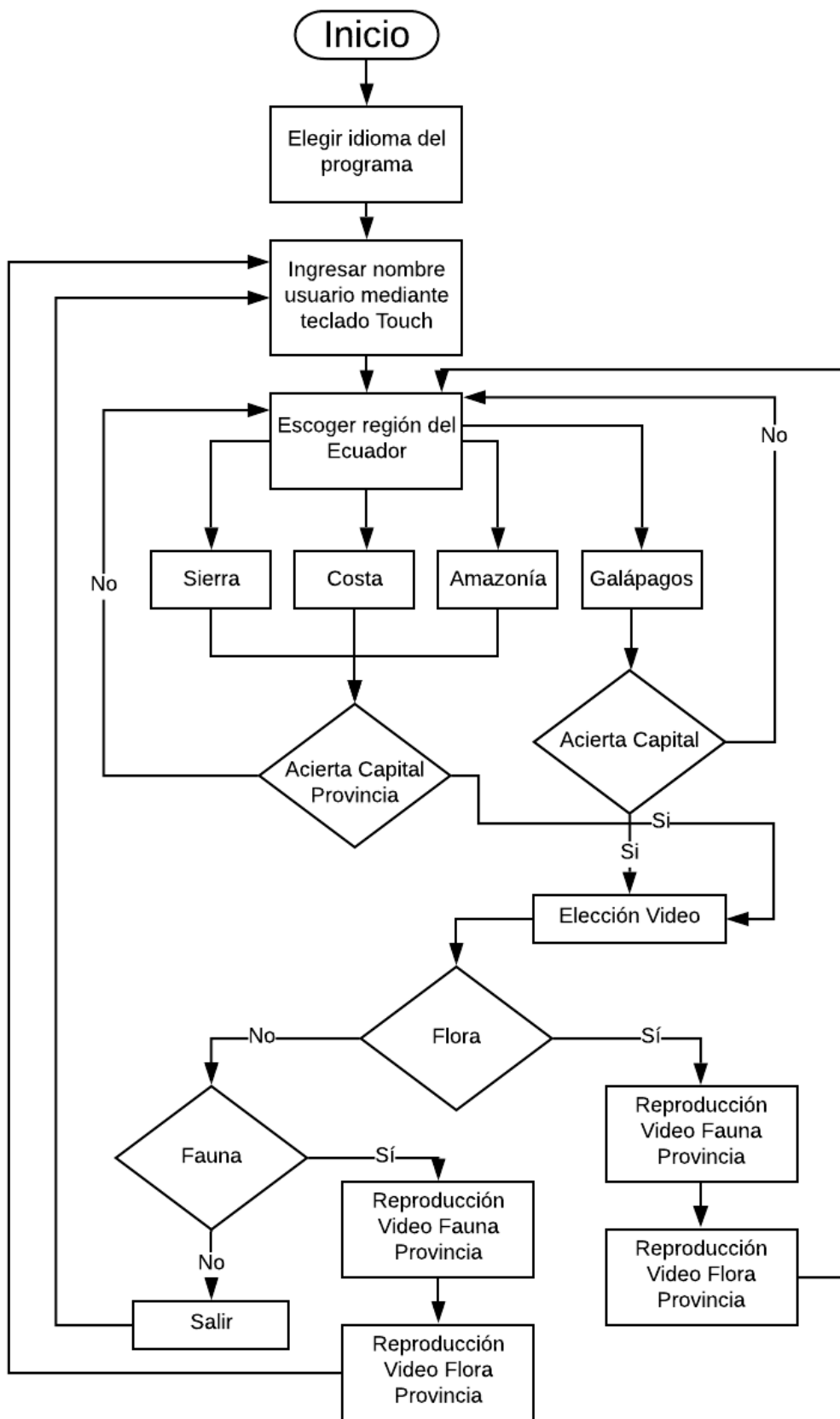


Figura 15. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica.

En la Figura 16 se indica el diagrama de funcionamiento de la parte mecánica, el cual consiste en la combinación del sistema mecánico con el algoritmo de programación. El cual consta de dos movimientos; el primero se da cuando el usuario debe acertar la capital de una de las provincias escogidas, en este caso el sistema mecánico responderá con un levantamiento del brazo derecho; y el segundo movimiento se dará en el caso de dar una respuesta errónea, a esto el sistema mecánico responderá con un movimiento en el cuello en forma de negación.

Adicional a esto el robot cuenta con un sistema mecánico encargado del movimiento de los ojos, este sistema fue implementado para darle un aspecto aproximado al movimiento horizontal de los ojos de un humano y no cumple con una función específica relacionada con la aplicación.

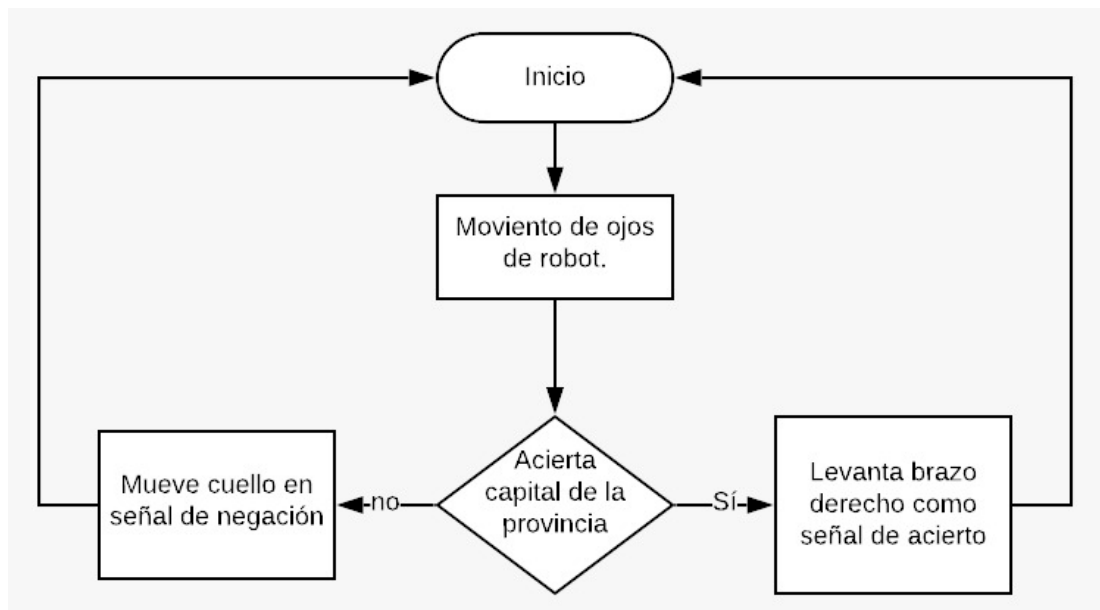


Figura 16. Diagrama de flujo se sistema mecánico.

La Figura 17 muestra la lógica del movimiento de los ojos del robot. El mismo que fue programado en un ciclo repetitivo en un intervalo de 30 s, logrando simular el movimiento horizontal de los ojos humanos.

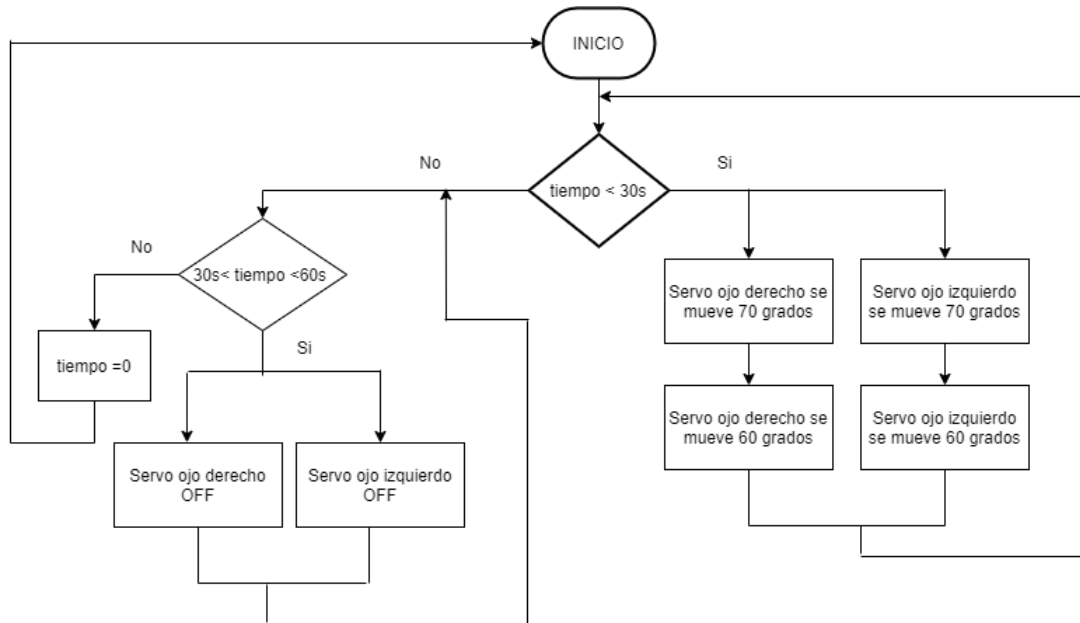


Figura 17. Diagrama de flujo se sistema mecánico de ojos del robot.

2.3.2.1 INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica fue desarrollada con colores vistosos para el usuario, de fácil uso; y a su vez que cumpla con todos los movimientos detallados, y lograr que el robot sea didáctico.

En la Figura 18 se muestra la pantalla para una interacción personalizada, donde el usuario deberá ingresar su nombre para ser mostrado en posteriores pantallas de la aplicación.



Figura 18. Pantalla de ingreso de nombre de usuario.

En la Figura 19 se puede observar la pantalla en la cual aparecen las 4 regiones del Ecuador, en esta pantalla el usuario tendrá que elegir una de las cuatro regiones para poder pasar a la siguiente pantalla.



Figura 19. Pantalla de regiones del Ecuador.

En la Figura 20 se muestra la pantalla previa a la de reproducción de los videos de flora o fauna. En esta pantalla el usuario escogerá una de las dos

opciones, la cual permitirá reproducir en primer lugar el video de la opción escogida, seguido de esto se reproducirá el video de la otra opción.



Figura 20. Pantalla de elección flora/fauna.

2.3.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Los principales elementos que se tomaron en cuenta para el modelado de la estructura fueron: la pantalla táctil y los servomotores. La pantalla táctil es el componente más importante del sistema ya que con este se realiza la interacción con el usuario, este se encuentra sujeta con 4 tornillos en el centro del tórax para el cual se debió hacer un corte en esta parte del robot.

Debido a que el robot debía contar con un aspecto humanoide la estructura del robot fue realizada en dos softwares SolidWorks y Zbrush. Solidworks es un software orientado para el modelado mecánico y diferentes aplicaciones de ingeniería, mientras que Zbrush es un software que está orientado para el modelado orgánico; es utilizado por diferentes referentes en la industria de videojuegos, de animaciones 3d y para cinematografía.

La aplicación de los dos softwares fue la siguiente:

SolidWorks fue utilizado para realizar el modelado de las partes principales en donde se encuentra toda la parte electrónica y mecánica del sistema. Una de estas fue la estructura que representa el tórax del robot, la misma que contiene el circuito y conexiones mecánicas necesarias que brindan movilidad al brazo derecho y al cuello del robot, como se muestran en los anexos 002 y 003.

La cabeza también incluye una parte mecánica importante que es el movimiento de los ojos, la cual funciona mediante dos servomotores y un

microcontrolador. Al contener este mecanismo esta parte debía contar con medidas exactas, por esta razón se la modeló en Solidworks, como se puede observar en los anexos 001 y 004.

Los acoples de los servomotores para el brazo derecho y el cuello son partes que también deben tener medidas exactas y deben estar centradas, por este motivo se utilizó el mismo software, de esta manera se obtuvo estos acoples que permiten realizar movimientos fluidos y sin impedimentos. Se detallan en el anexo 005.

Zbrush fue utilizado para el modelado de las partes restantes de la estructura que simplemente tienen un aspecto orgánico, es decir, brazo derecho e izquierdo y piernas derecha e izquierda. Estas están conformadas cómo se puede ver en la Figura 21 y Figura 22.

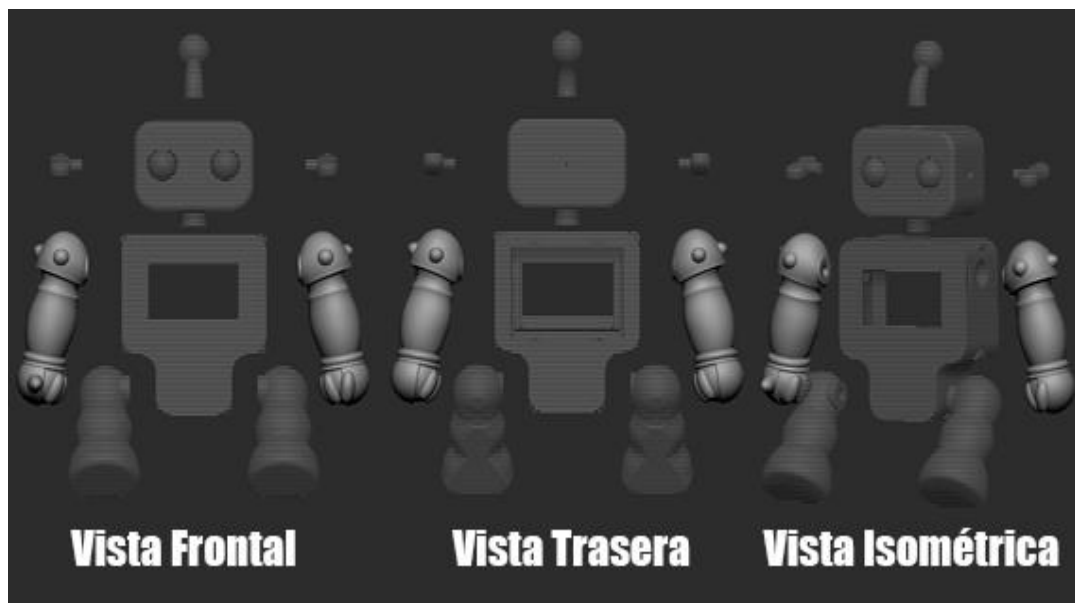


Figura 21. Vistas de brazos modelados en Zbrush.

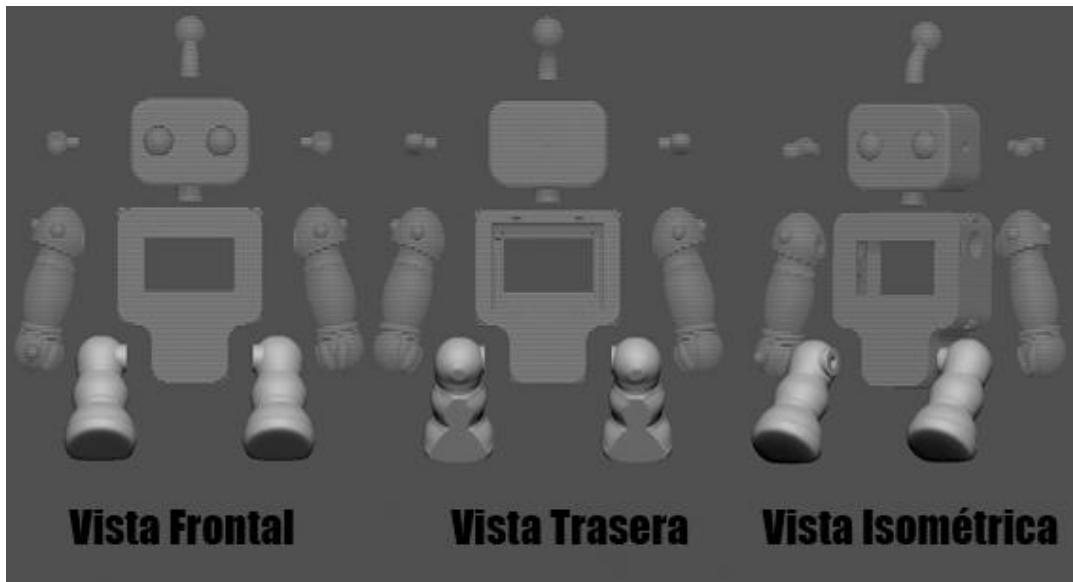


Figura 22. Vistas de piernas modeladas en Zbrush.

En la Figura 23 se muestra el diseño final del prototipo del robot con todas sus partes detalladas.

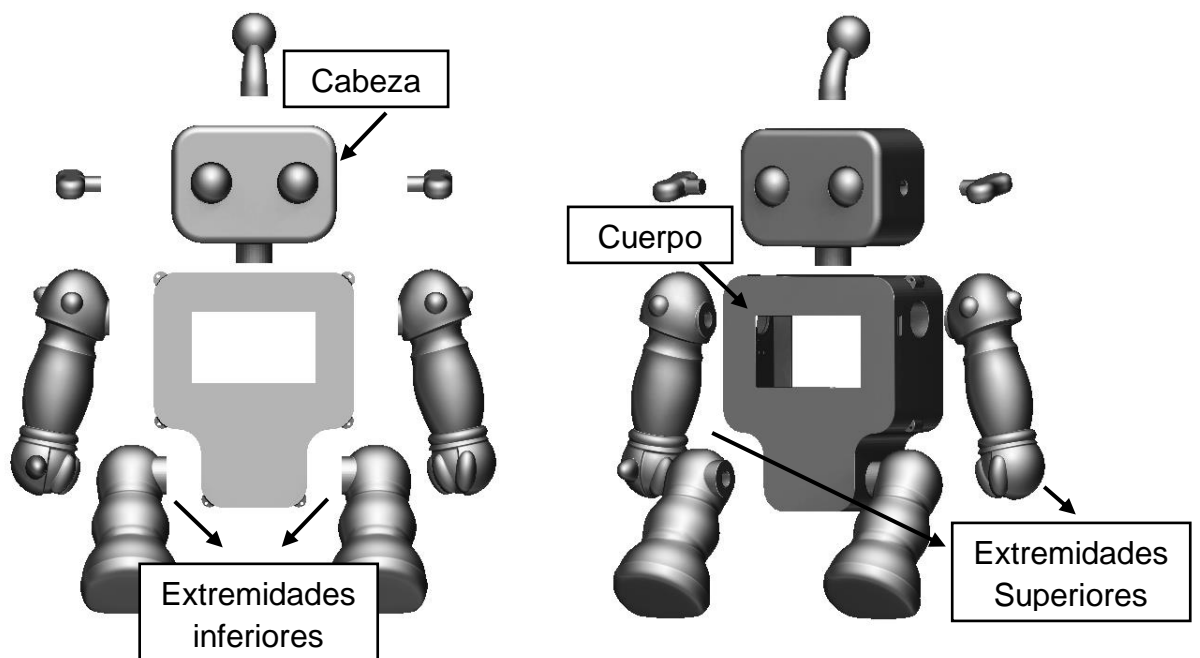


Figura 23. Vista explosionada de estructura de robot.

El robot pedagógico se encuentra en posición sedente, la cual permite la estabilidad de toda la estructura. Las piernas se encuentran perpendiculares a la estructura del tórax para que esta se mantenga en equilibrio, los brazos se encuentran sujetos al tórax, uno de ellos se mantiene fijo mientras que el

otro realiza movimientos de flexión y extensión mediante una articulación. Así mismo, el cuello cuenta con otra articulación para poder realizar movimientos de rotación izquierda y derecha.

En el tórax se encuentra incrustada la pantalla táctil, dentro de esta parte se encuentran todas las conexiones incluidas las bases para el servomotor y para el microprocesador.

En la Tabla 6 se muestra el largo, altura y profundidad de las dimensiones de los complementos estructurales.

Tabla 6. Dimensiones del robot pedagógico

Dimensiones Generales			
Pieza	Largo [mm]	Alto [mm]	Profundidad [mm]
Cabeza	210	150	120
Cuerpo	255.2	300	120
E. Superior	85	90	290
E. Inferior	115	90	220

Los materiales empleados en la fabricación del prototipo fue PLA.

Para el proceso de impresión se realizaron varios cortes en el diseño por dos motivos principales: conseguir la impresión por separado de sus partes y conseguir impresiones en dos colores; por consiguiente, se logró obtener una estructura igual a la modelada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el diseño, se construyó el prototipo, y se ensambló la estructura del robot cómo se muestra en la Figura 24. El diseño del robot cuenta con seis partes en su totalidad, estas son:

1. Cuerpo.
2. Cabeza.
3. Extremidad derecha superior.
4. Extremidad izquierda superior.
5. Extremidad derecha inferior.
6. Extremidad izquierda inferior.

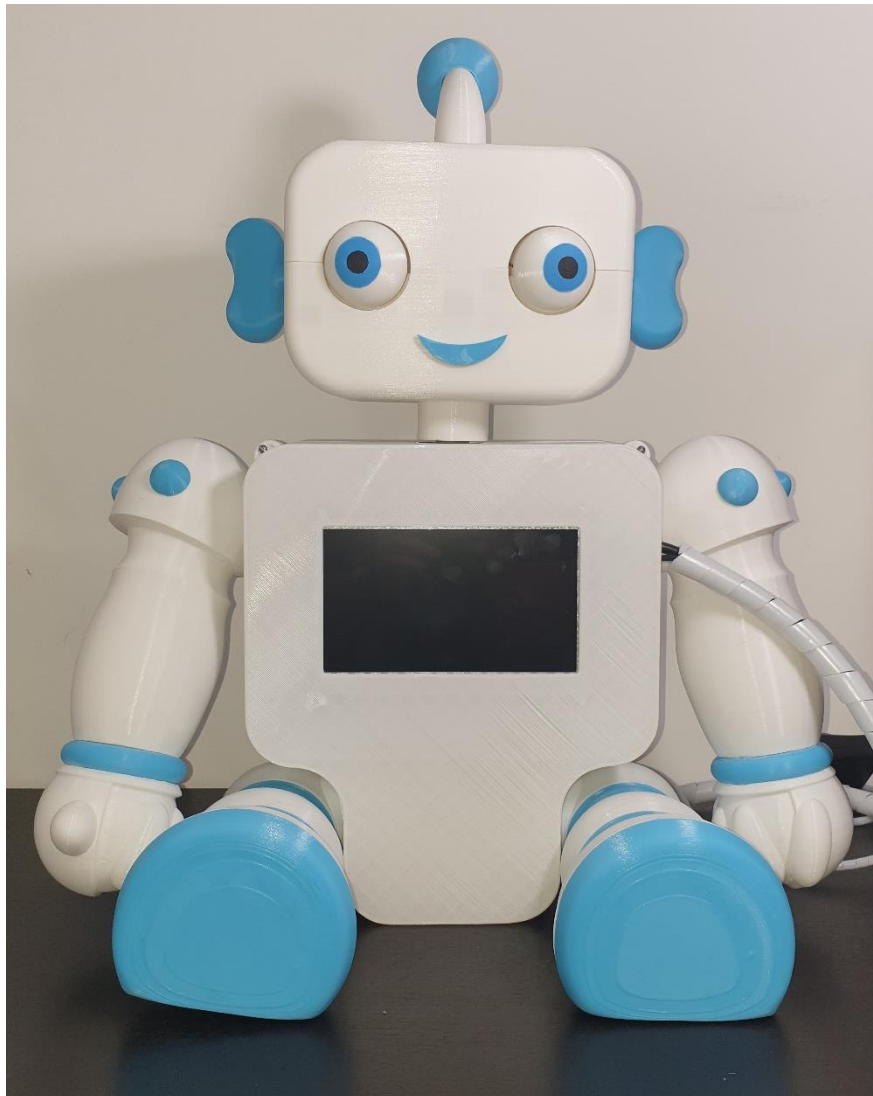


Figura 24. Ensamble de estructura del robot.

Posteriormente se realizó el montaje de la pantalla LCD en la estructura, esta se encuentra ubicada en el centro del tórax. También se realizaron todas las respectivas conexiones de la parte eléctrica y electrónica, las cuales están contenidas en la parte interna del tórax de la estructura como se muestra en la Figura 25.

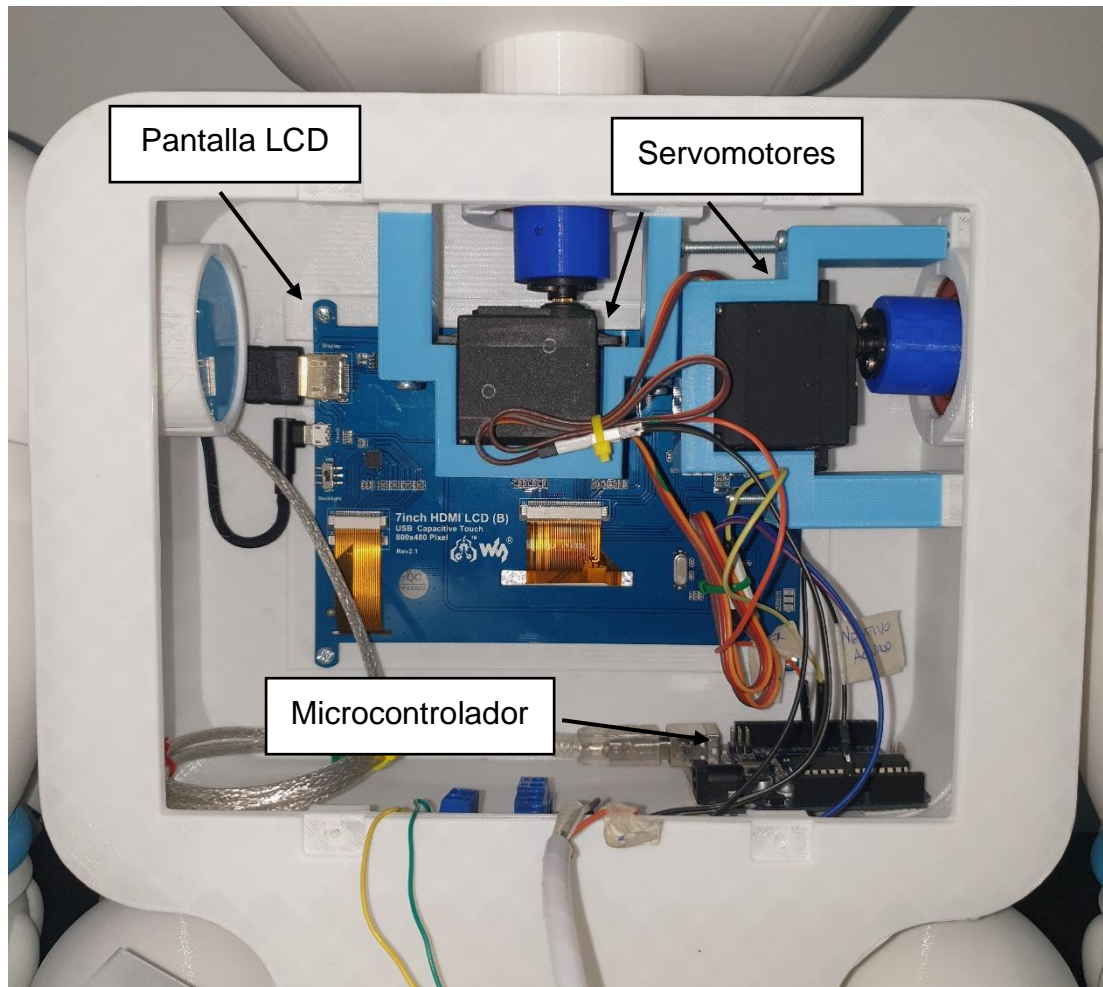


Figura 25. Conexiones internas de todo el sistema del robot pedagógico.

Realizadas todas las conexiones, se procedió a ejecutar las pruebas de la integración del microcontrolador con el programa, verificando que funcionen todas las acciones que deben cumplir las articulaciones móviles.

Comprobado que el microcontrolador se integra correctamente al programa conjunto con los actuadores, se procedió a verificar el diseño de la aplicación realizada en lenguaje JAVA, la cual se ejecuta mediante el sistema operativo de Windows 10 que se encuentra instalado en la Tablet PC.

La aplicación se maneja gracias a la utilización de una pantalla táctil de 7" que se encuentra situada en el tórax del robot, la misma que cuenta con una interfaz gráfica diseñada para que el usuario pueda interactuar de una manera

sencilla y atrayendo la atención del usuario con imágenes llamativas. A continuación, se muestran las diferentes pantallas que posee la aplicación.

En la Figura 26 se muestra la pantalla inicial en la que permite al usuario escoger entre el idioma español o inglés.

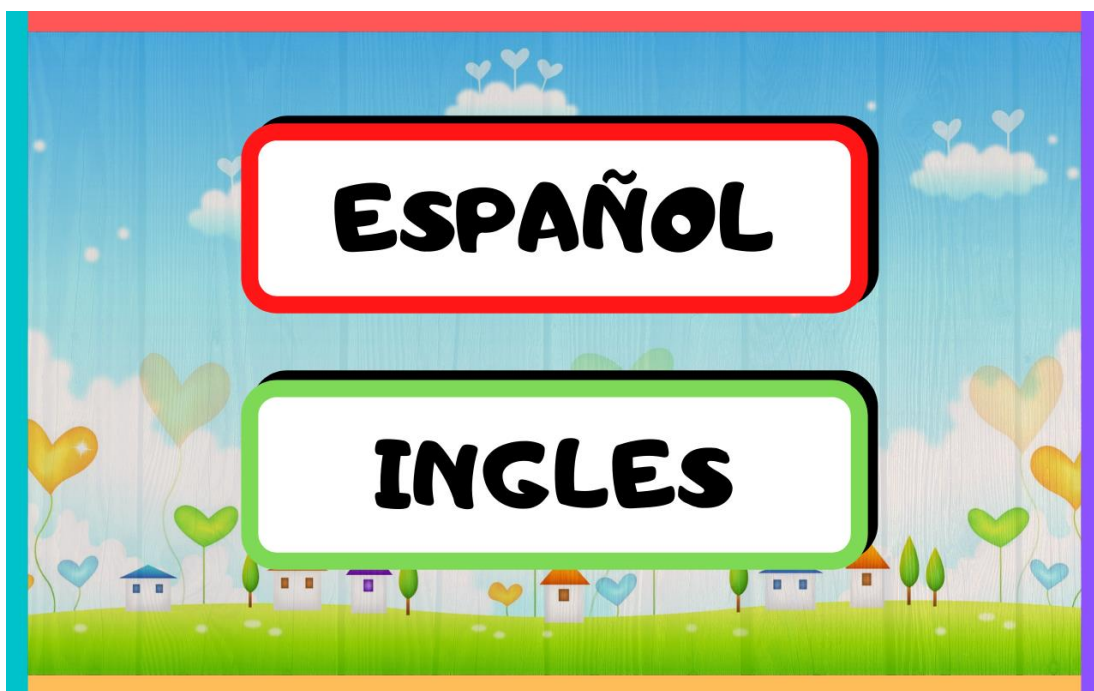


Figura 26. Pantalla elección de idioma.

En la Figura 27 se puede observar la pantalla de personalización para la interacción con el usuario, en esta pantalla el usuario ingresa su nombre.

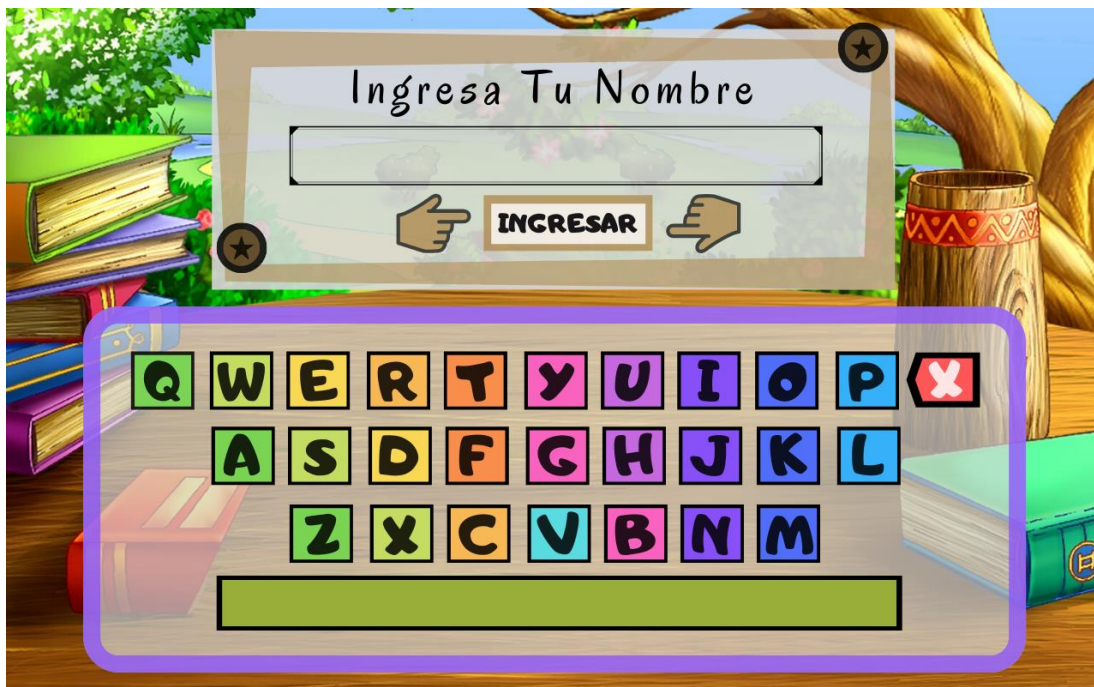


Figura 27. Pantalla de ingreso de nombre.

En la Figura 28 se indica el mapa del Ecuador con sus cuatro regiones, en esta pantalla se escogerá una región para poder pasar a la siguiente pantalla.



Figura 28. Pantalla elección de región.

En la Figura 29 se muestra la pantalla de la región costa donde el usuario escogerá una provincia de esta región.



Figura 29. Pantalla elección de provincia región costa.

En la Figura 30 se observa la pantalla de la región sierra donde el usuario escogerá una provincia de esta región.



Figura 30. Pantalla elección de provincia región sierra.

En la Figura 31 se indica la pantalla de la región amazónica donde el usuario escogerá una provincia de esta región.



Figura 31. Pantalla elección de provincia región amazónica.

La Figura 32 muestra la pantalla del juego de aprendizaje donde se tienen dos partes la primera que es el recuadro amarillo en la que se mostrará la pregunta: ¿Cuál es la capital de la provincia (Provincia escogida)? Y la segunda parte en el recuadro rojo aparecerán tres opciones. Una de ellas es la correcta la que el usuario deberá acertar para poder seguir con el juego.



Figura 32. Pantalla elección capital correcta.

En la Figura 33 se observa la pantalla de elección de flora y fauna, una vez escogida la capital correcta aparecerá esta pantalla, aquí el usuario podrá escoger que video desea observar en primer lugar, al término de este se reproducirá el video de la opción no elegida automáticamente, esto con el objetivo de complementar la información al usuario.



Figura 33. Pantalla elección Flora/Fauna.

3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Después de la construcción y el ensamble del robot se realizaron pruebas de funcionamiento comprobando tanto los comandos de la aplicación como el

funcionamiento en conjunto de las señales enviadas por la interfaz gráfica hacia el sistema mecánico. Detectando así los posibles fallos en el diseño de la aplicación o del sistema mecánico.

3.1.1 PRUEBA PANTALLA TÁCTIL

Se realizaron 20 pruebas del funcionamiento de la pantalla táctil de las cuales se obtuvo como resultado 3 casos, en el primero en el 10% de las muestras se tuvo que presionar en 3 ocasiones para obtener la respuesta requerida, en el segundo caso en el 30% de las muestras se presionó 2 veces la pantalla y lograr la respuesta deseada, y en el último caso en el 60% de las muestras funcionó en la primera acción del táctil. Como se muestra en la Figura. 34

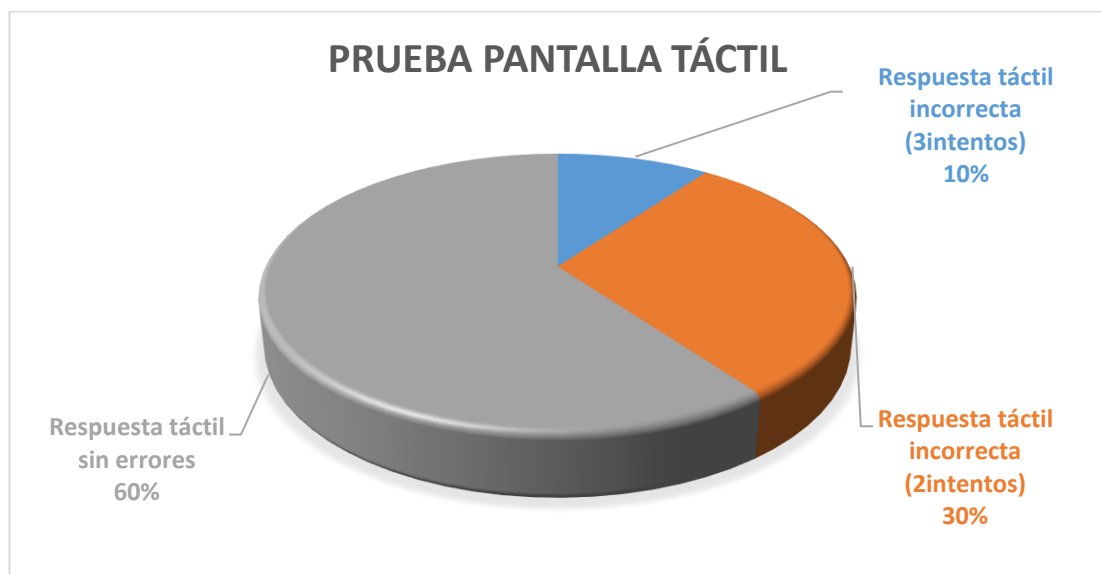


Figura 34. Porcentaje de lecturas de pantalla táctil.

3.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN

Se ejecutó la aplicación y se verificó que la misma cumple correctamente con el flujo de funcionamiento, cada uno de los botones responde de manera acertada a la acción establecida.

A continuación, se muestran ejemplos de la prueba de funcionamiento correcto de los botones de la aplicación en dos diferentes pantallas de esta.

En la Figura 35 se muestra la pantalla de registro del nombre del usuario, en la cual se comprobó que todas las letras están completamente funcionales observando que en el recuadro del texto en la parte superior corresponden a la letra presionada, así como los botones para ingresar a la siguiente parte de la aplicación.



Figura 35. Verificación de funcionamiento de teclado.

En la Figura 36 se puede observar que la pantalla de reproducción de los videos para aportar al usuario conocimiento sobre flora y fauna está funciona correctamente.



Figura 36. Verificación de reproducción de videos.

3.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVOMOTORES

Se pusieron a prueba los servomotores de la extremidad derecha superior y del cuello comprobando que no existan ningún tipo de impedimento en los movimientos asignados. Consiguiendo como resultado que estos realizan movimientos continuos sin ninguna traba en el momento de su accionamiento, como se muestra en la Figura 37, en la parte izquierda se observa que el brazo derecho del robo está terminando de realizar el movimiento de flexión para posteriormente regresar al punto de partida mediante le proceso de extensión del brazo, y en la parte derecha el movimiento de rotación del cuello del robot.

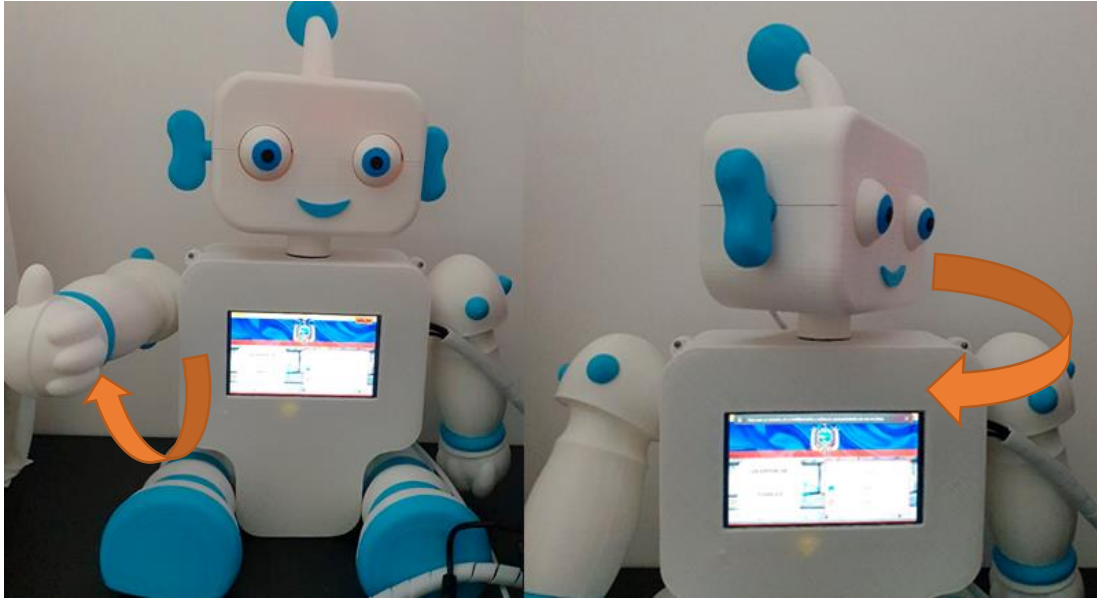


Figura 37. Verificación de respuesta de actuadores.

3.1.4 TIEMPO DE RESPUESTA

Se tomaron medidas de tiempos de respuesta de los dos principales movimientos que realiza el robot, uno de ellos el levantamiento del brazo derecho la interfaz manda una señal siempre y cuando el usuario haya acertado la respuesta, el tiempo promedio que se demora el microprocesador en enviar el dato al actuador es de 12.05 s. El tiempo promedio del ciclo de movimiento de flexión y de extensión del brazo fue de 70.76 s. El segundo movimiento es del cuello, este ocurre cuando el usuario escoge una respuesta incorrecta; el tiempo promedio que se demora el microprocesador en enviar la señal al actuador en este movimiento es de 23.72 s; y el ciclo de movimiento de rotación del cuello simulando un gesto de negación es de 171.18 s en promedio.

En la Tabla 7 se muestran los tiempos que se obtuvieron al realizar 10 pruebas de tiempo de respuesta y calculando un tiempo promedio (\bar{t}) para cada proceso mecánico que realiza el robot, estos tiempos son estimados debido a que se realizaron con un cronometro de forma manual.

Tabla 7. Resultados de tiempo de respuesta.

TIEMPOS DE RESPUESTA				
	Respuesta Brazo	Respuesta Cuello	Ciclo Funcionamiento Brazo	Ciclo Funcionamiento Cuello
t₁ [s]	10	25.9	65.7	171.9
t₂ [s]	8.3	21.1	68.9	169.8
t₃ [s]	12.1	25.7	70.8	170.5
t₄ [s]	11	24.9	71.6	172.6
t₅ [s]	8.2	22.3	75.4	173
t₆ [s]	10.5	23.5	69.4	170.9
t₇ [s]	14.7	23.9	68.1	171.3
t₈ [s]	16	25.2	70.6	169.1
t₉ [s]	13.9	22.8	72.6	172.4
t₁₀ [s]	15.8	21.9	74.5	170.3
\bar{t} [s]	12.05	23.72	70.76	171.1

La Figura 38 indica el algoritmo para medir los distintos tiempos de respuesta del sistema.

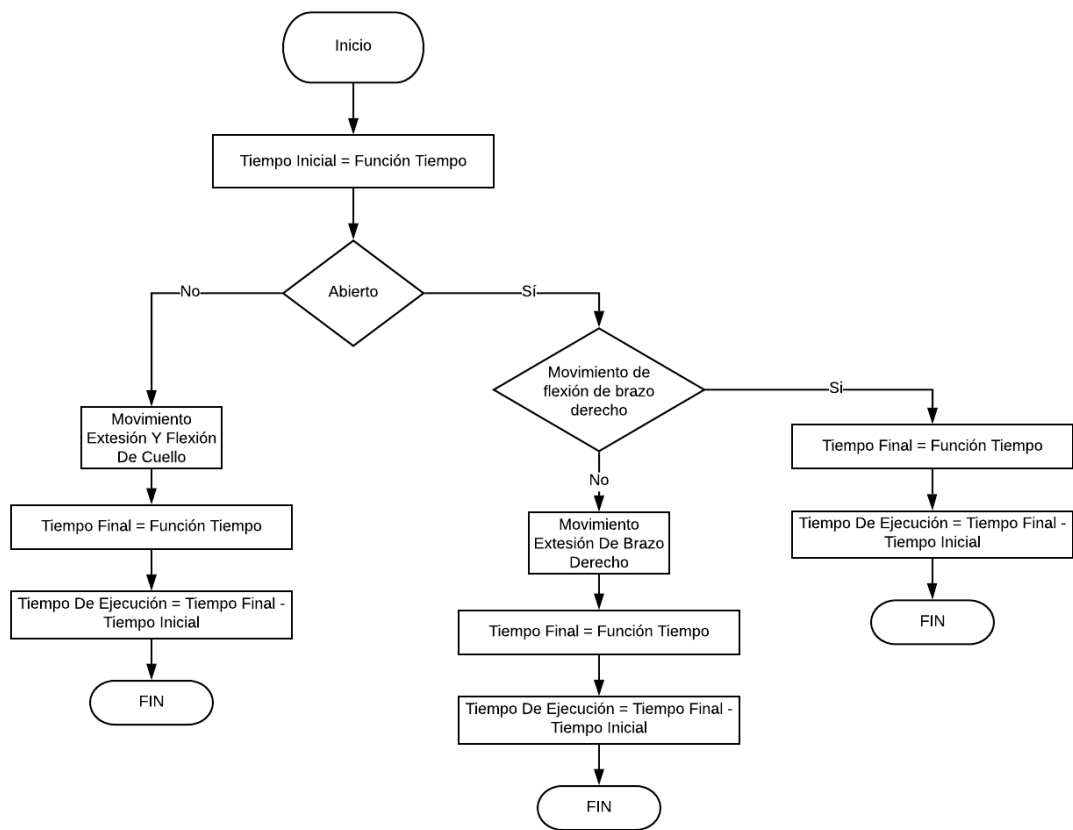


Figura 38. Diagrama de medida de tiempos de respuesta.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se consiguió diseñar y construir un robot pedagógico de apoyo para la enseñanza de la geografía del Ecuador con base en robots lúdicos que se encuentran en el mercado.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento del robot con éxito; en los componentes electrónicos y mecánicos. Se hicieron tanto pruebas de tiempos de respuesta como de funcionamiento de la aplicación y del sistema mecánico teniendo como respuesta tiempos menores a 3 minutos en todos sus ciclos de funcionamiento.
- Se logró obtener un diseño visualmente amigable para el usuario tomando en cuenta que el público al que va dirigido son niños de cuatro a diez años, el cual se realizó en impresión 3D con material PLA.
- El diseño y construcción de acoples fueron necesarios para la implementación de las articulaciones del robot, de esta manera se contuvieron los servomotores logrando su estabilidad y fijándolos para evitar problemas con los movimientos que realiza el robot.
- Se logró diseñar una interfaz gráfica de fácil manejo para el usuario y con imágenes llamativas para poder atraer la atención de los niños que van a manipular este robot.
- El proyecto está diseñado para brindar una ayuda con el aprendizaje de las capitales de todas las provincias del Ecuador ya que la aplicación contiene un juego de apoyo a los estudios de este tema de una forma interactiva.

RECOMENDACIONES

- Es posible mejorar el diseño del robot integrando un nuevo mecanismo en la mandíbula, para simular el habla del robot y así darle un aspecto más realista.
- Podría integrarse en la programación de la aplicación diferentes juegos para transformar el sistema en un robot pedagógico de distintas áreas del sistema educativo.
- Se puede implementar inteligencia artificial para que este pueda interactuar con el usuario de una forma más directa y natural.
- Para una mejor comunicación con el usuario se puede realizar el diseño y acople de un sistema de altavoz interno a la estructura.
- El mecanismo de los ojos podría ser mejorado agregando el movimiento superior e inferior de las pupilas para que esté se asemeje más a un ojo humano.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Londoño, J. A., Caicedo-Bravo, E., & Ferney Castillo-García, J. (2019). Beneficios del Ambiente Robótico Lúdico SpinBOT en el Desarrollo de Habilidades Cognitivas. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 16(2), 171. Recuperado de <https://doi.org/10.4995/riai.2017.8763>
- AISOY. (2019, 5 octubre). Recuperado de <https://www.aisoy.com/es/>
- Alvarado, R., & Universidad Católica del Norte. (2011). Measuring the competitiveness of the provinces of Ecuador. Recuperado de <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/34244/>
- Bee-bot.us. (2018). Bee-Bot Home Page. Recuperado de <https://www.bee-bot.us/>
- Castro, M. (2007). La distribución de la riqueza en el Ecuador. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, 1–32. Recuperado de <http://cursecon/ecolat/ec/2007/mac.pdf>
- Catlin D. & Blamires M. (2010) “The Principles of Educational Robotic Applications (ERA)”. A framework for understanding and developing educational robots and their activities. The 12th EuroLogo conference. Recuperado de <http://www.valiant-technology.com/uk/pdfs/ERA%20Paper%20for%20Constructionsim%202010.pdf> Consultado 23/04/2017.
- COJI by WowWee® - Learn to code with a smile(y). (s. f.). Recuperado de <https://wowwee.com/coji>
- Cruz, D. T. (2011). Protocolo de Investigación y Modelado de un robot humanoide.
- Cuzco, G. (septiembre, 2017). Robot guía de Actividades Lúdicas como herramienta de enseñanza para niños Robot guía de Actividades Lúdicas como herramienta de enseñanza para niños.
- Da Silva, M., González, C., & Congreso internacional de video juegos y educación (CIVE'17). (2017). PequeBot: Propuesta de un sistema luficado de robótica educativa para la educación infantil. Recuperado

de

https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/6677/CIVE17_paper_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Del Mar, A. (2006). Planificación de actividades didácticas para la enseñanza y aprendizaje de la ciencia y tecnología a través de la Robótica Pedagógica con enfoque CTS.

Felici S. (s.f.). Sistemas operativos. Fundamentos de telemática.

Guerrero-Gonzalez, E., Paez-Rodriguez, J. J., & Roldán, F. J. (2013). Robots cooperativos, Quemes para la Educación. *Revista Vínculos*, 10(2), 47–62. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.004>

INEVAL. (2013). Ineval presenta los resultados de la evaluación Ser Estudiante 2013. Instituto Nacional de Evaluación Educativa. <https://www.evaluacion.gob.ec/ineval-presenta-los-resultados-de-la-evaluacion-ser-estudiante-2013/>

Lukalector. (2019). Recuperado de <https://lukalector.com/>

Muñoz, N. D., Andrade, C. A., & Londoño Ospina, N. (2011). Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 19(19), 114–127. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/2490%5Cnhttp://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/download/2490/1632>

Odorico, A. (2004). Marco teórico para una robótica pedagógica. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 1(3), 34–46.

Odorico, A. H. (2005). La robótica desde una perspectiva pedagógica. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 2(5), 33–48.

Pinto, M., Barrera, N., Pérez, W., & Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Grupo de Investigación en Robótica y Automatización Industrial, GIRA. (2010). Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096098>

Queiruga, C., Banchoff, C., Rosso, J., López, F., Kimura, I., Brown, M., Martín, S. and Iuliano, P. (2012). Aplicaciones ludificadas que combinan robots y dispositivos móviles. Experiencias en la Facultad de Informática de la UNLP. LINTI/Facultad de informática/Universidad nacional de La Plata. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41356/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Robot Kits For Kids | KIBO. (2020, 16 abril). Recuperado de <https://kinderlabrobotics.com/kibo/>

Salamanca, P., Barrera Lombana, N., Javier, W., & Holguín, P. (2010). Uso de la robotica educativa como herramienta en los procesos educativos. 10(1), 15–23. Recuperado de www.colegiobolivar.edu.co

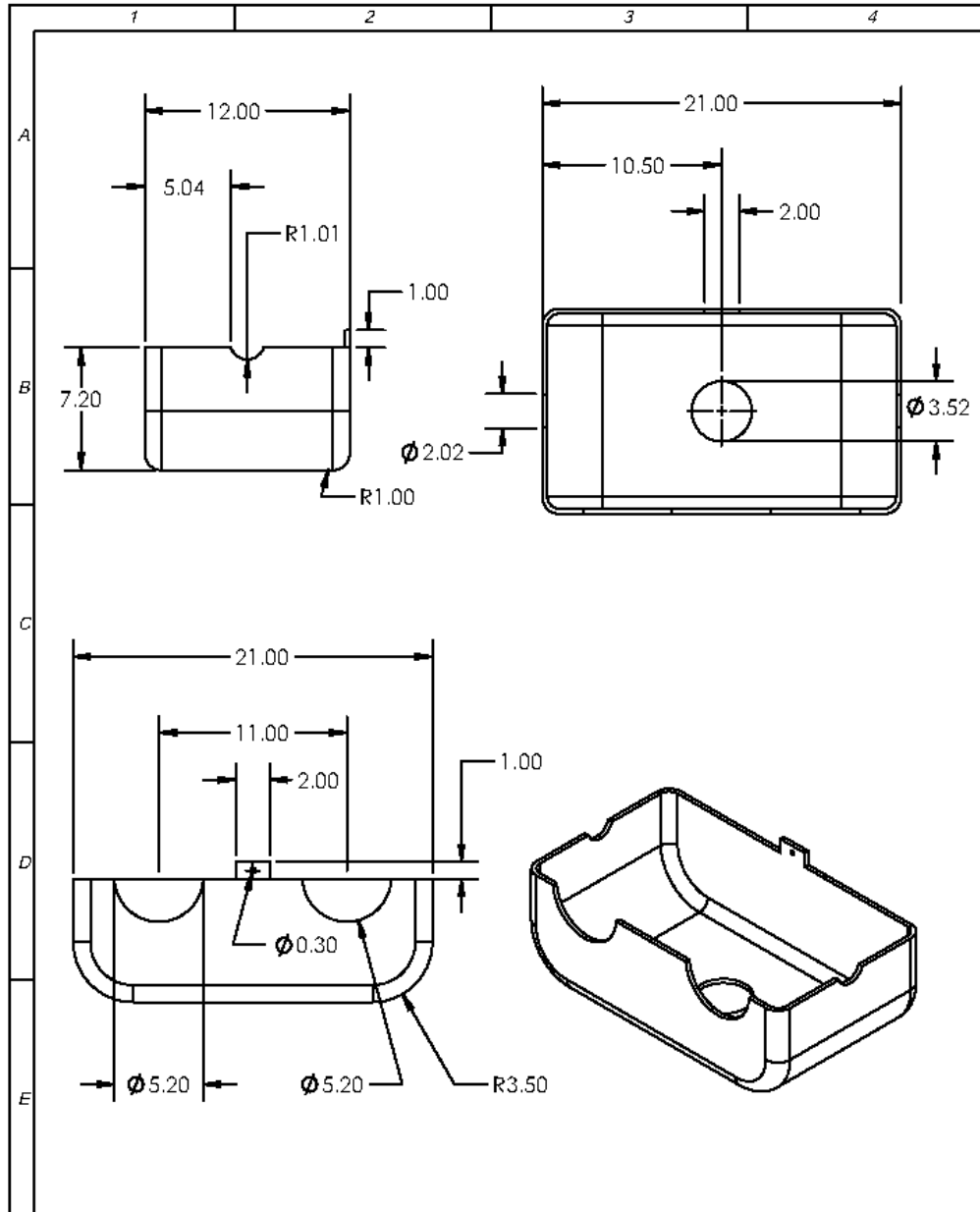
SANBOT. (s. f.). Recuperado de <http://en.sanbot.com/>

Velasco, E. (2013). Educatrónica. México: Editorial Díaz de Santos, S.A.

Viteri, G. (2009). Situación de la educación en el Ecuador. Recuperado de <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2006/gfvd.pdf>

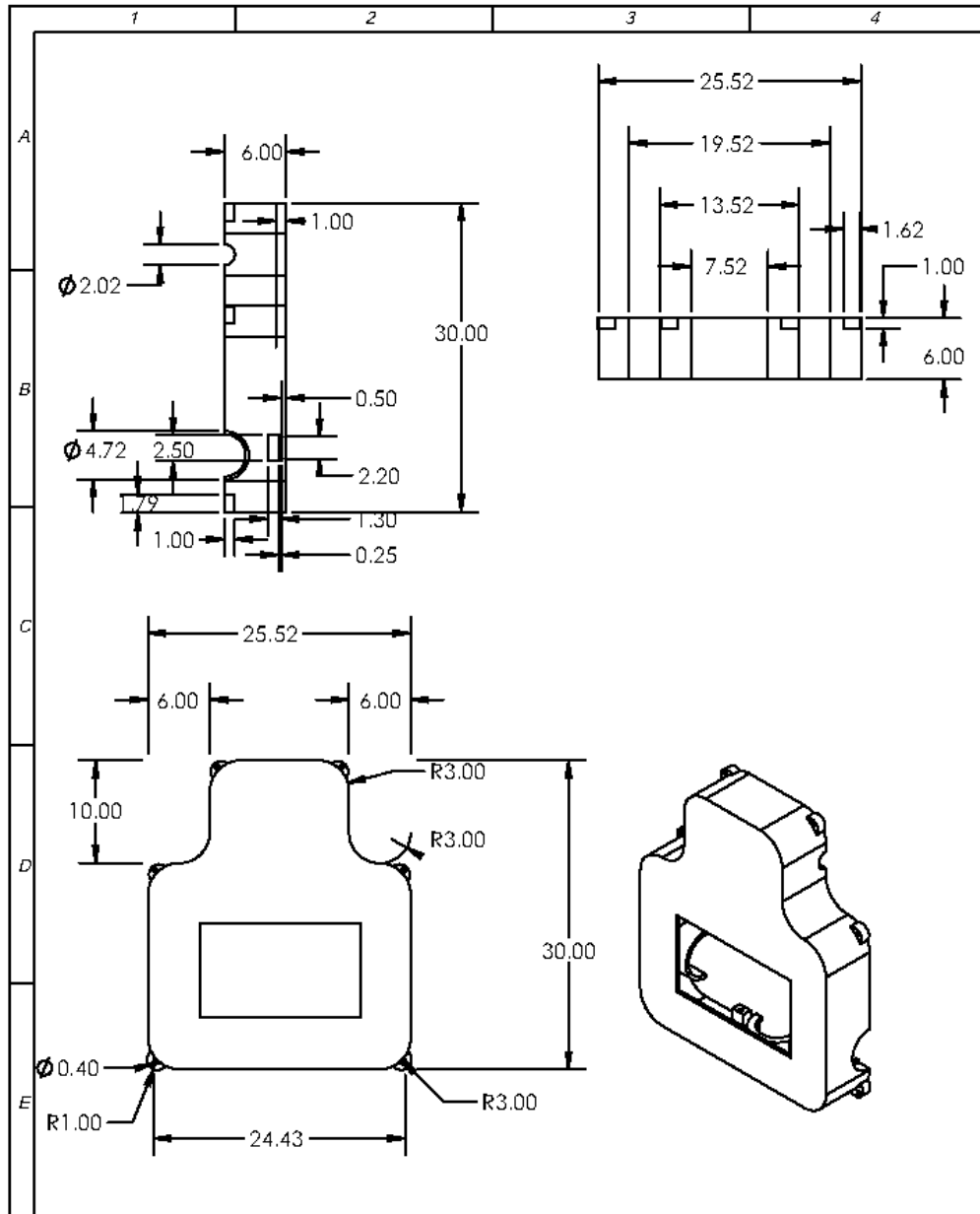
ANEXOS


Anexo 001 Planos tapa superior cabeza robot



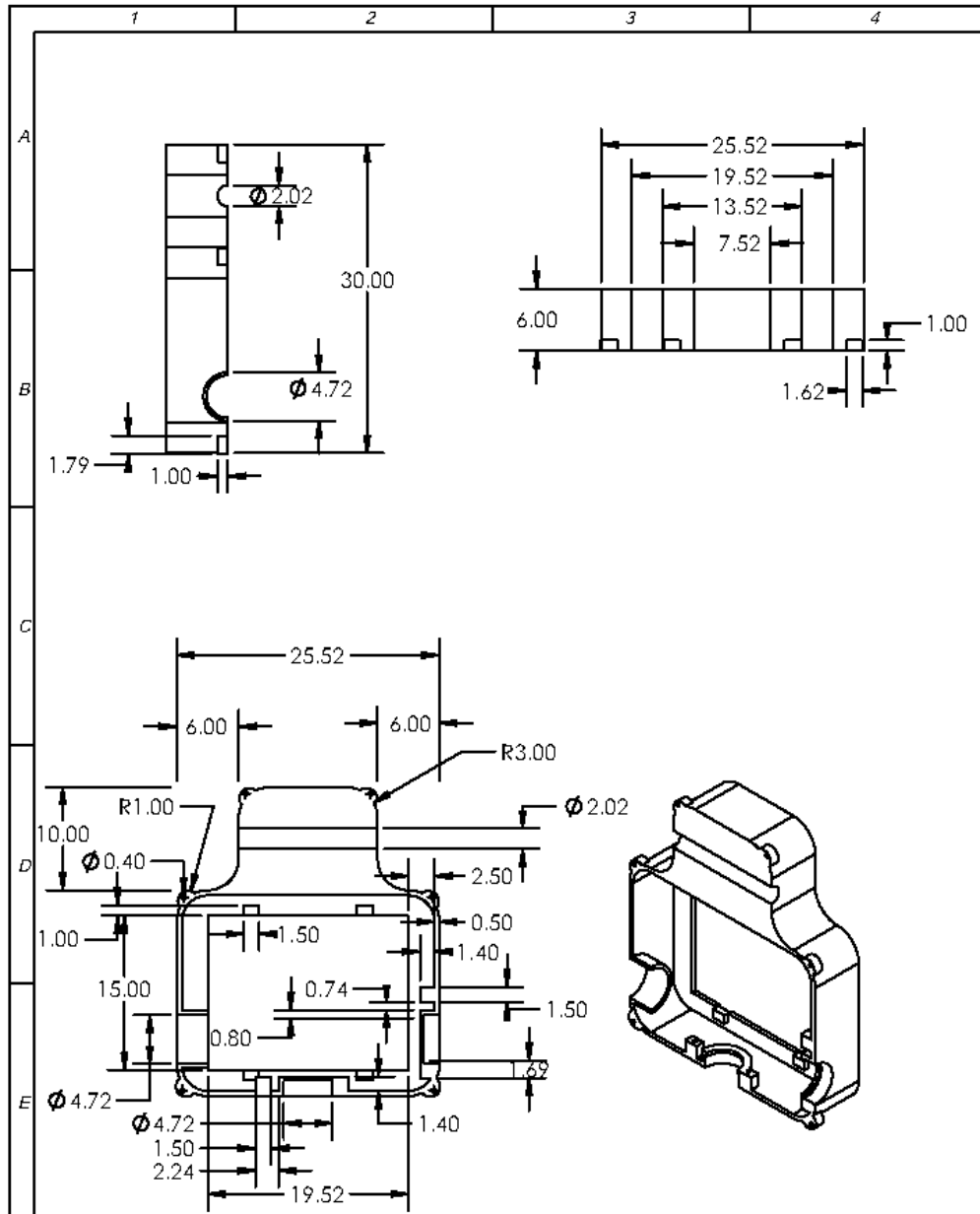
				TOLERANCIA.	PESO (Kg).	MATERIAL.	
				± 0.1	184.27 g	PLA	
				Fecha	Nombre	Tapa Cabeza Superior	
				Dibujado	Valencia C.		
				Revisado			
				Aprobado		ESCALA.	
				FIRMA / EMPRESA.		DIBUJO Nº.	
				UTE		ANEXO 001	
						HG. LA.	
						A4	
Emisión	Modificación	Fecha	Nombre				

Anexo 002 Planos tapa frontal pecho robot



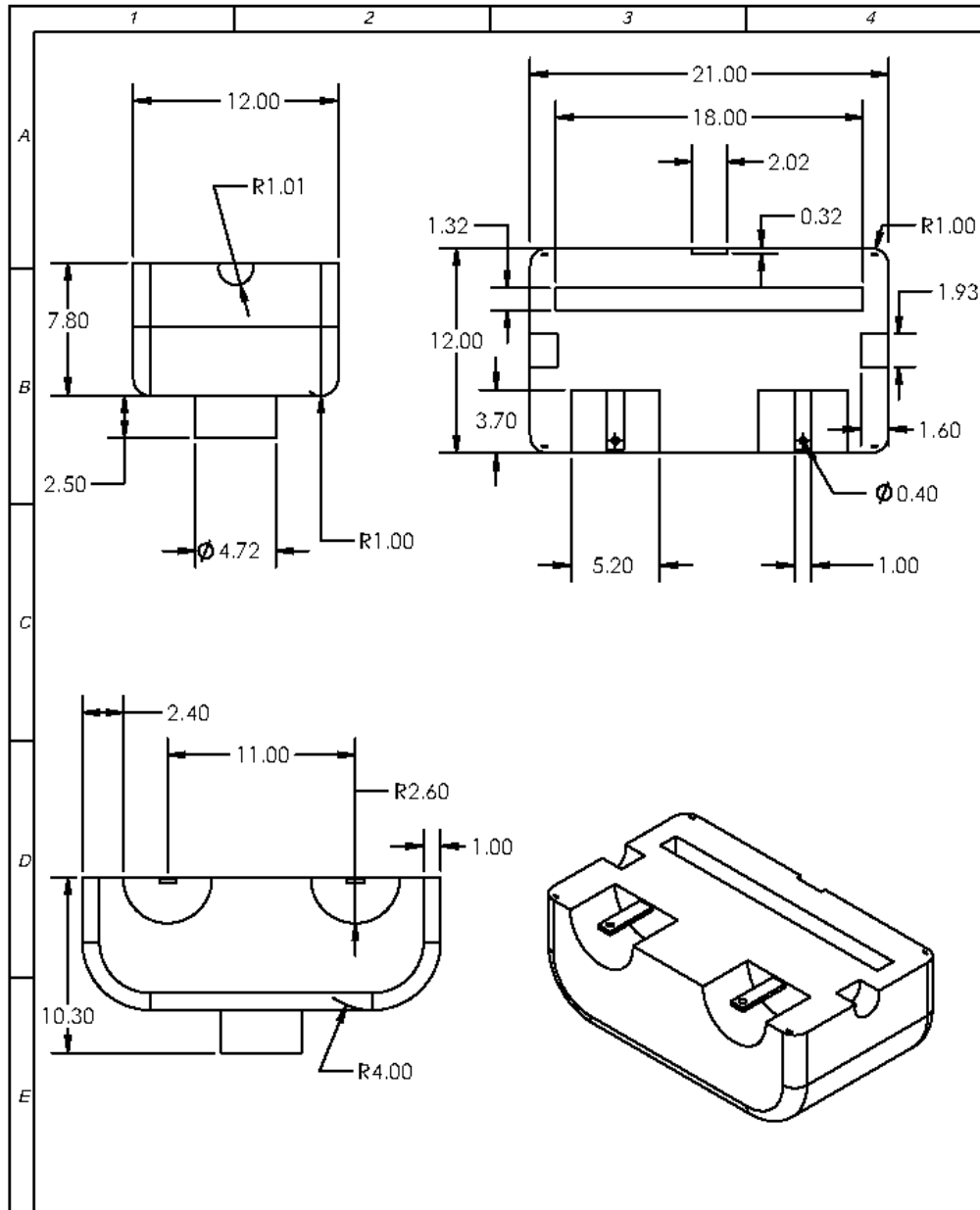
				TOLERANCIA.	PESO (Kg).	MATERIAL.		
				± 0.1	1226.16 g	PLA		
				Fecha	Nombre	Tapa Delantera de Pecho		
				Dibujado //15/2/20	Valencia C.			ESCALA.
				Revisado				1:5
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA.		DIBUJO Nº.		
				UTE 		ANEXO 002		
						HC.14.		
						A4		
Emisión	Modificación	Fecha	Nombre					

Anexo 003 Planos tapa trasera pecho robot



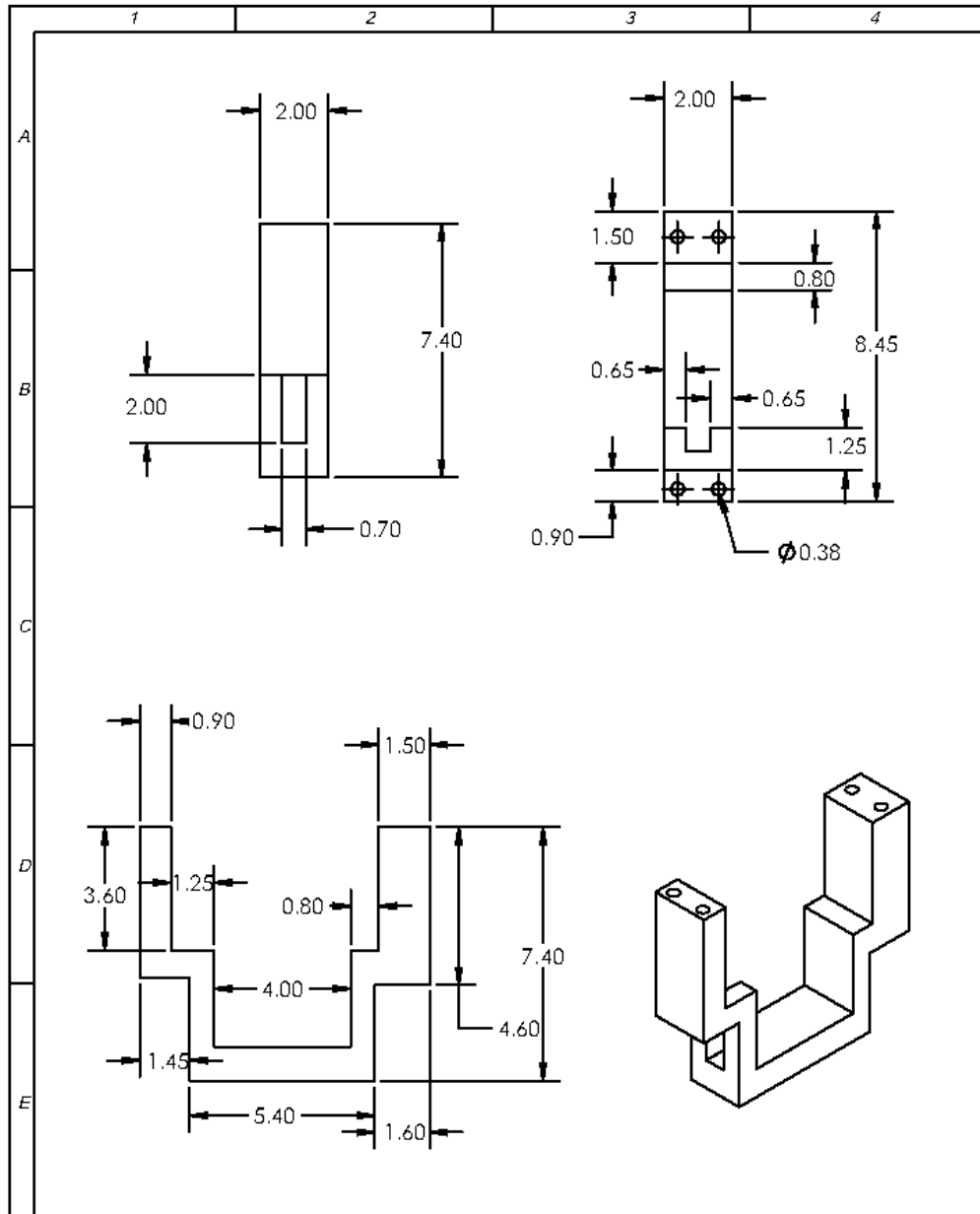
		TOLERANCIA.	PESO (Kg).	MATERIAL.		
		± 0.1	1172.01 g	PLA		
		Fecha	Nombre	Tapa Trasera de Pecho		
		Dibujado	Valencia C.			ESCALA.
		Revisado				1:5
		Aprobado				
		FIRMA / EMPRESA.		OBJETO Nº.	HOJA.	
				ANEXO 003	A4	
Emisión	Modificación	Fecha	Nombre			

Anexo 004 Planos tapa inferior cabeza robot



				TOLERANCIA.	PESO (Kg).	MATERIAL.	
				± 0,1	1771,90 g	PLA	
				Fecha	Nombre		
				Dibujado //15/2/20	Valencia C.	ESCALA.	
				Revisado		Tapa Inferior de Cabeza	
				Aprobado		1:3	
				FIRMA / EMPRESA.	DRUJO Nº.	HC.14.	
				UTE	ANEXO 004	A4	
Emisión	Modificación	Fecha	Nombre				

Anexo 005 Planos soporte para acoplar servomotores a la estructura



				TOLERANCIA.	PESO (Kg).	MATERIAL.		
				± 0.1	38.79 g	PLA		
				Fecha	Nombre	Soporte para Servomotor		
				Dibujado //15/2020	Valencia C.			ESCALA.
				Revisado				2:3
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA.		DIBUJO Nº.		
				UTE		ANEXO 005		
						HC.14.		
						A4		
Emisión	Modificación	Fecha	Nombre					