



Diseño y fabricación de un robot asistente para el aprendizaje de niñas y niños de 9 a 12 años de edad mediante metodología STEAM

Torres Remachi, Bryan Saul

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

29 de febrero de 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis_Torres_Bryan_3.pdf

Scan details

Scan time:
February 29th, 2024 at 13:23 UTC

Total Pages:
87

Total Words:
21684

Plagiarism Detection



6%

Types of plagiarism		Words
Identical	1.9%	412
Minor Changes	0.5%	101
Paraphrased	3.1%	681
Omitted Words	8.5%	1835

AI Content Detection

0%

Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	19849

[Learn more](#)

Alerts: (1)

Cross Language: Same Document Language

Submitted language and cross-language text are the same language. No credits were used.

2/5 Severity

Plagiarism Results: (111)

Copyleaks Internal Database

2.2%

DIEGO JAVIER NACEVILLA GOMEZ
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Beneficios de la robótica educativa – Cantera de empresas

1.2%

<https://canteradeempresas.com/beneficios-de-la-robotica-educativa/>

Saltar al contenido Cantera de empresas Proyecto de formación en habilidades tecnológicas ...

LEGO MINDSTORMS Robot Inventor | Envío Gratis | ROBOTIX

0.4%

<https://www.robotix.es/es/mindstorms-robot-inventor>

LEGO MINDSTORMS Robot Inventor | Envío Gratis | ROBOTIX1 ...

Firma:

Constante Prócel, Patricia Nataly

Directora



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: "Diseño y fabricación de un robot asistente para el aprendizaje de niñas y niños de 9 a 12 años de edad mediante metodología STEAM." fue realizado por el señor Torres Remachi, Bryan Saul el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma:

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C. C: 0503354029



Departamento de Ciencias la de Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Torres Remachi, Bryan Saul** con cédula de ciudadanía N° 1718539438, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **“Diseño y fabricación de un robot asistente para el aprendizaje de niñas y niños de 9 a 12 años de edad mediante metodología STEAM”** 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.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma

Torres Remachi, Bryan Saul

C.C.: 17218539438



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Torres Remachi, Bryan Saul** con cédula de ciudadanía N° 1718539438, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **“Diseño y fabricación de un robot asistente para el aprendizaje de niñas y niños de 9 a 12 años de edad mediante metodología STEAM.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma



Torres Remachi, Bryan Saul

C.C: 1718539438

Dedicatoria

Con todo mi corazón a mi madre Yolanda.
Gracias por tus bendiciones a lo largo de mi vida,
te dedico este trabajo en ofrenda por tu gran
amor y paciencia. ¡Gracias Madre mía, te amo!
A mi padre Ángel, por ser el apoyo más grande
del mundo que todo hijo desea tener.
A mis hermanos Erick y Angelo, que son mi
fuente de inspiración y motivación
A mi yo del pasado, ¡lo logramos!

Bryan Saúl Torres

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen del Cisne por darme fuerzas para seguir adelante pese a las complicaciones de la vida. Agradezco a mi familia por ser mi pilar fundamental en este desarrollo académico y personal, sus palabras y consejos que han proporcionado la confianza para enfrentar los desafíos de la vida académica.

A la ingeniera Patricia Constante mi tutora de tesis, le expreso mi gratitud por su papel fundamental dentro de mi formación académica y en el desarrollo de este proyecto desde el inicio hasta el final, su asistencia en todo momento me ha ayudado mucho durante toda esta trayectoria. Su participación como Ingeniera Mecatrónica ha sido base de inspiración para mi crecimiento profesional.

A mis compañeros y amigos que hice a lo largo de esta trayectoria, su estancia durante este proceso ha sido motivo de anécdotas y momentos que siempre llevaré conmigo a cualquier lugar, gracias por estar durante los momentos buenos y malos.

Finalmente, gracias a mi amada carrera de Ingeniería Mecatrónica por acogerme y enseñarme que para convertir los sueños en realidad se necesita de determinación, dedicación, autodisciplina y esfuerzo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas	14
Índice de figuras	16
Resumen	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Fundamentación Teórica	21
Introducción.....	21
Objetivos	22
<i>Objetivo General.....</i>	22
<i>Objetivos Específicos</i>	22
Hipótesis	22
Variables de la Investigación.....	22
<i>Variable Independiente</i>	22

<i>Variable Dependiente</i>	22
Metodología STEAM	23
Educación STEAM	24
Metodología STEAM en niños menores a 12 años	24
Robótica	25
Robótica Social	26
Robótica Educativa para niños y niñas	27
Robótica educativa con metodología STEAM	27
Robótica móvil	28
Robots educativos con metodología STEAM	29
<i>mBot</i>	29
<i>LEGO MINDSTORMS Robot Inventor</i>	30
<i>VEX 123</i>	30
Capítulo II Diseño de Concepto	32
Metodología	32
Norma VDI 2206	32
Matriz de calidad	33
Identificación de las necesidades	34
Definición de características técnicas	35
Comparación con la competencia	39
Valores objetivos a alcanzar	41

Generación de conceptos	43
<i>Concepto A</i>	45
<i>Concepto B</i>	45
<i>Concepto C</i>	46
Selección de conceptos	47
Selección de componentes electrónicos	48
<i>Selección de la tarjeta controladora</i>	48
Movimiento del robot.....	52
<i>Selección de motores</i>	52
<i>Descripción del controlador del motor</i>	54
Descripción del sensor de distancia	55
Descripción de la pantalla.....	56
Descripción del sensor de color	57
Selección de la batería	58
Selección de software de desarrollo	60
Capítulo III Diseño del robot educativo.....	63
Introducción.....	63
Diseño mecánico del robot	63
Diseño del cuerpo del robot	64
<i>Diseño del chasis</i>	64
<i>Diseño de la tapa del chasis</i>	66

Diseño de la mordaza del motor	67
Diseño de la cabeza del robot	68
<i>Diseño de la parte frontal de la cabeza del robot</i>	68
<i>Diseño de la parte trasera de la cabeza del robot</i>	69
Selección del material para la Manufactura del robot	70
Análisis estático de la estructura del robot.....	72
Diseño electrónico del robot	77
Asignación de pines del procesador	78
Actuadores.....	78
<i>Micro motores N20-30 y TB6612FNG</i>	78
Pantalla TFT	80
Sensores	81
Conectores Modulares	82
Carga y descarga del robot.....	83
Diseño del controlador de motores	84
Desarrollo de Software	89
Firmware del robot.....	89
Motores N20.....	89
Medición de velocidad angular	90
Diseño de juegos.....	91
Capítulo IV Implementación	92

Fabricación de la placa PCB.....	92
Fabricación de la estructura mecánica	95
<i>Procedimiento</i>	95
Ensamblaje del robot.....	98
Placa de control.....	98
Estructura del robot.....	99
Ensamblaje final.....	100
Compilación de la aplicación móvil.....	102
<i>Procedimiento</i>	102
Juegos	105
<i>Laberinto</i>	105
<i>Trayectoria</i>	106
<i>Bloques</i>	108
<i>Control Remoto</i>	109
Aprendizaje	109
Análisis Técnico – económico	113
<i>Elementos electrónicos</i>	113
<i>Elementos Mecánicos</i>	114
Capítulo V Pruebas.....	116
Pruebas de resistencia de las partes mecánicas.....	116
Prueba de autonomía de baterías	119

Pruebas del funcionamiento del proyecto con los niños de 9 a 12 años	121
<i>Inducción</i>	121
<i>Uso del robot</i>	122
Análisis de resultados de las pruebas de conocimiento	123
Análisis de resultados de encuestas de satisfacción	125
Validación de la Hipótesis	125
Conclusiones	128
Recomendaciones	130
Bibliografía	131
Anexos	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Requerimientos del cliente</i>	34
Tabla 2 <i>Características técnicas para el robot</i>	36
Tabla 3 <i>Factores de incidencia</i>	37
Tabla 4 <i>Factores de venta</i>	37
Tabla 5 <i>Resultados de la matriz QFD</i>	39
Tabla 6 <i>Comparación con productos del mercado</i>	40
Tabla 7 <i>Estándares mínimos e ideales para el robot</i>	41
Tabla 8 <i>Evaluación de conceptos</i>	47
Tabla 9 <i>Características técnicas de los procesadores</i>	49
Tabla 10 <i>Puntuaciones para la ponderación de los criterios de selección</i>	50
Tabla 11 <i>Criterios de selección para el procesador</i>	50
Tabla 12 <i>Calificación de alternativas para el motor DC</i>	51
Tabla 13 <i>Características técnicas de los motores DC</i>	52
Tabla 14 <i>Criterios de selección para el motor DC</i>	53
Tabla 15 <i>Calificación de alternativas para el motor DC</i>	53
Tabla 16 <i>Características técnicas de las baterías</i>	58
Tabla 17 <i>Criterios de selección para la batería</i>	59
Tabla 18 <i>Calificaciones de alternativas para la batería</i>	59
Tabla 19 <i>Características técnicas de las plataformas de programación</i>	61
Tabla 20 <i>Criterios de selección para el software de desarrollo</i>	61
Tabla 21 <i>Calificaciones de alternativas para el software de desarrollo</i>	62
Tabla 22 <i>Talla de niños y niñas a los 12 años en Ecuador</i>	73
Tabla 23 <i>Peso de cada componente y total del robot</i>	74
Tabla 24 <i>Distribución de pines de la ESP32 para los motores y TB6612FNG</i>	79
Tabla 25 <i>Asignación de pines restantes del TB6612FNG</i>	79

Tabla 26	<i>Distribución de los pines para la ESP32 para la pantalla</i>	80
Tabla 27	<i>Distribución de pines de la ESP32 WROOM y los sensores</i>	81
Tabla 28	<i>Disposición de conectores JST en los elementos</i>	83
Tabla 29	<i>Parámetros obtenidos para el modelo matemático de los motores</i>	87
Tabla 30	<i>Formulas para la sintonización Lambda en lazo abierto</i>	89
Tabla 31	<i>Especificaciones técnicas del motor N20-30 de 30 RPM</i>	90
Tabla 32	<i>Versiones fabricadas de la placa de control</i>	99
Tabla 33	<i>Versiones de las estructuras mecánicas</i>	99
Tabla 34	<i>Descripción de los elementos electrónicos con sus costos</i>	113
Tabla 35	<i>Descripción de los elementos mecánicos con sus costos</i>	114
Tabla 36	<i>Resumen del costo del robot</i>	115
Tabla 37	<i>Prueba de resistencia de las partes mecánicas</i>	116
Tabla 38	<i>Carga aplicada en el ensamblaje</i>	118
Tabla 39	<i>Prueba de impacto en la estructura principal</i>	119
Tabla 40	<i>Resultados del cuestionario de aprendizaje</i>	124
Tabla 41	<i>Comparativa de resultados con y sin el uso del robot</i>	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Pirámide de aprendizaje de Dale</i>	23
Figura 2 <i>Robot mBot</i>	29
Figura 3 <i>Robot creado con el Kit Robot Inventor</i>	30
Figura 4 <i>Kit del robot VEX 123</i>	31
Figura 5 <i>Modelo V</i>	33
Figura 6 <i>Caja negra del proyecto</i>	43
Figura 7 <i>Subfunciones del proyecto</i>	44
Figura 8 <i>Sistema general para el robot asistente</i>	44
Figura 9 <i>Concepto A "Robot cuadrúpedo"</i>	45
Figura 10 <i>Concepto B "Robot Humanoide"</i>	46
Figura 11 <i>Concepto C "Robot móvil"</i>	46
Figura 12 <i>Resultados de la selección del procesador</i>	51
Figura 13 <i>Resultados de la selección del motor</i>	54
Figura 14 <i>Driver TB6612FNG</i>	55
Figura 15 <i>Sensor Ultrasónico HC-SR04</i>	56
Figura 16 <i>Pantalla TFT 128x128 SPI</i>	57
Figura 17 <i>Sensor de color TCS3200 GY-31</i>	57
Figura 18 <i>Resultados de la selección de la batería</i>	60
Figura 19 <i>Resultados de la selección del software de desarrollo</i>	62
Figura 20 <i>Vista isométrica del robot y su distribución</i>	65
Figura 21 <i>Vista superior del chasis y su distribución</i>	65
Figura 22 <i>Vista isométrica - exterior de la tapa del chasis y su distribución</i>	66
Figura 23 <i>Vista isométrica - interna de la tapa del chasis</i>	67
Figura 24 <i>Mordaza para el motor</i>	67
Figura 25 <i>Vista isométrica interior de la parte frontal de la cabeza</i>	68

Figura 26	<i>Vista superior de la parte frontal de la cabeza del robot</i>	69
Figura 27	<i>Vista isométrica de la parte trasera de la cabeza del robot</i>	69
Figura 28	<i>Diagrama de Ashby (Resistencia a la tracción vs Densidad)</i>	71
Figura 29	<i>Diagrama de Ashby (Módulo de Young vs Densidad)</i>	72
Figura 30	<i>Ensamblaje del cuerpo y la cabeza del robot</i>	74
Figura 31	<i>Tensión de Von Mises en la estructura del robot</i>	76
Figura 32	<i>Distribución de pines de la ESP32 WROOOM de 38 pines</i>	77
Figura 33	<i>Conectores JST</i>	82
Figura 34	<i>Módulo de carga para batería</i>	84
Figura 35	<i>Diagrama de control en lazo abierto para el motor</i>	85
Figura 36	<i>Curva de reacción de un proceso ante una entrada escalón</i>	86
Figura 37	<i>Curva de reacción del motor ante una entrada escalón</i>	86
Figura 38	<i>Comparación del modelo matemático con la curva de reacción del motor</i>	87
Figura 39	<i>Esquema de control PID para motores</i>	88
Figura 40	<i>Canal A y B del encoder con sus pulsos</i>	90
Figura 41	<i>Diagrama de diseño de juegos</i>	91
Figura 42	<i>Verificación del diámetro de orificio para los componentes</i>	93
Figura 43	<i>Verificación del ancho de pista de la placa PCB</i>	94
Figura 44	<i>Diseño final de la placa electrónica PCB</i>	94
Figura 45	<i>Placa electrónica PCB manufacturado por JLCPCB</i>	95
Figura 46	<i>Pieza cargada en el laminador Cura</i>	96
Figura 47	<i>Parámetros elegidos para la impresión 3D</i>	96
Figura 48	<i>Segmentación de la pieza en capas para la impresión 3D</i>	97
Figura 49	<i>Pre calentamiento de la impresora 3D</i>	97
Figura 50	<i>Resultado de la impresión 3D</i>	98
Figura 51	<i>Componentes soldados en la placa PCB</i>	101

Figura 52	<i>Ensamblaje final del robot</i>	101
Figura 53	<i>Ventana Build Settings</i>	102
Figura 54	<i>Ventana Player Settings</i>	103
Figura 55	<i>Compilación de la aplicación</i>	103
Figura 56	<i>Pantalla principal de la aplicación</i>	104
Figura 57	<i>Ventana de calibración del sensor de color</i>	105
Figura 58	<i>Ventana del juego Laberinto</i>	106
Figura 59	<i>Ventana del juego Trayectoria</i>	107
Figura 60	<i>Robot con el tablero y los cuadrados establecidos en el juego Trayectoria</i>	107
Figura 61	<i>Ventana del juego Bloques</i>	108
Figura 62	<i>Ventana del juego Control Remoto</i>	109
Figura 63	<i>Ventana de Aprendizaje</i>	110
Figura 64	<i>Ventana de pregunta</i>	110
Figura 65	<i>Pregunta respondida correctamente con la emoción del robot</i>	111
Figura 66	<i>Pregunta respondida incorrectamente con la emoción del robot</i>	111
Figura 67	<i>Ponderación insatisfactoria para el cuestionario con la emoción del robot</i>	112
Figura 68	<i>Ponderación satisfactoria junto a la emoción del robot</i>	112
Figura 69	<i>Primera sensación de los niños al observar al robot</i>	121
Figura 70	<i>Inducción del robot a los participantes</i>	122
Figura 71	<i>Explicación del funcionamiento del robot</i>	123
Figura 72	<i>Alumnos del establecimiento participando de los juegos</i>	123
Figura 73	<i>Resultados obtenidos mediante la encuesta de satisfacción</i>	125
Figura 74	<i>Tabla de cuantiles de la distribución t Student</i>	127

Resumen

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un robot asistente de aprendizaje como un instrumento para la mejora en la educación en los niños y niñas entre las edades de 9 a 12 años. Contribuyendo de esta manera al aprendizaje en conjunto con metodologías STEAM. Facilitar a los niños y niñas una herramienta con la que puedan interactuar e iniciarse en el mundo de la ciencia, tecnología, arte y matemática que proporciona un aprendizaje divertido, interactivo y dinámico para los alumnos. La secuencia de desarrollo del robot es el diseño y fabricación respetando criterios propuestos por educadores que faciliten la interacción con los infantes. El desarrollo de este proyecto se subdivide en 3 partes, la primera es el diseño y fabricación del robot, de manera modular y compacta para que el niño pueda transportar al robot de manera rápida y segura, la segunda parte consiste en el desarrollo de una aplicación para el móvil la cual debe ser acorde a la edad de los niños y proveer de estímulos visuales y auditivos, además de ser de fácil entendimiento para los niños y que consiste en la comunicación entre el robot y el móvil y la tercera parte es la fabricación de un tablero independiente en el cual el robot va a realizar una serie de juegos con el objetivo de fomentar la integración de los niños en las aulas y a la par de aprender de manera, el tablero se utiliza para que el robot detecte colores y el niño programe de acuerdo a su criterio trayectorias o circuitos para llegar a una meta común. La finalidad de este robot es satisfacer las necesidades educativas y asistir en el aprendizaje de los niños con la metodología STEAM y mediante los juegos se enfoca en la integración de los niños para crear experiencias nuevas entre ellos con el uso de la tecnología.

Palabras clave: Robot asistente, aprendizaje STEAM, integración educativa.

Abstract

This project consists of the development of a learning assistant robot as a tool for the improvement of education in children between the ages of 9 to 12 years old. Contributing in this way to learning in conjunction with STEAM methodologies. To provide children with a tool with which they can interact and get started in the world of science, technology, art and mathematics that provides a fun, interactive and dynamic learning for students. The sequence of development of the robot is the design and manufacture respecting criteria proposed by educators that facilitate interaction with infants. The development of this project is subdivided into 3 parts, the first is the design and manufacture of the robot, in a modular and compact way so that the child can transport the robot quickly and safely, the second part is the development of a mobile application which must be according to the age of the children and provide visual and auditory stimuli, The third part is the manufacture of an independent board in which the robot will perform a series of games with the aim of promoting the integration of children in the classroom and at the same time to learn in a way, the board is used for the robot to detect colors and the child to program according to their criteria trajectories or circuits to reach a common goal. The purpose of this robot is to meet the educational needs and assist in the learning of children with STEAM methodology and through games focuses on the integration of children to create new experiences among them with the use of technology.

Keywords: Robot assistant, STEAM learning, Educational integration.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Introducción

Hoy en día la influencia de los avances tecnológicos es evidente en la vida cotidiana de las personas, por lo tanto, la educación de los niños tiene el reto de adaptarse a contextos de aprendizaje más sofisticados en los que se promuevan el desarrollo de habilidades científicas y se planteen desafíos a través de la incorporación de la robótica, en específico de la robótica educativa. Opuesto a esto, la educación actual en la que el alumno memoriza lo que el docente le transmite no crea conmoción en el mismo, frente a las nuevas exigencias que propone la sociedad moderna de avances tecnológicos y no ayuda a comprender la realidad integrada, delatando que ésta sigue perfilada en sistemas de enseñanza dependientes y poco reflexivos.

La educación STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas) se posiciona como un elemento clave en la renovación del sistema educativo en el país. De acuerdo con el boletín de prensa No. 178, realizado en Quito en el 2018 por la SENESCYT se anuncia la iniciativa “Coalición STEAM Ecuador”, en la cual se explica que esta iniciativa genera conocimientos y también dota a los estudiantes de destrezas y capacidades para auto resolver problemas que se presentan en el transcurso de su vida y que aporta cualidades para su crecimiento. Por su parte el gobierno enfatizó en crear programas STEAM que inspiren a la comunidad educativa a desarrollar investigaciones, contenido, publicaciones que estrechen la relación entre estudiantes y docentes. (SENESCYT, 2018)

La robótica educativa utiliza robots para impartir conocimiento utilizando la herramienta STEAM de una manera experimental, de esta manera colabora para que el educador fomente a los niños en adquirir conocimientos mediante la manipulación de estos prototipos que a su vez asisten al niño en el desarrollo de nuevas ideas para la resolución de problemas en conjunto de todo el grupo de trabajo. De este modo, los estudiantes pueden poner en práctica

conocimientos teóricos de manera palpable, participar en proyectos colaborativos y adquirir competencias pertinentes para el mundo actual y de esta manera afrontar nuevos desafíos de carácter tecnológico y desarrollar un enfoque práctico e interactivo en la educación STEAM.

(Celis & González, 2021)

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y fabricar un robot asistente para aprendizaje de niñas y niños de 9 a 12 años de edad

Objetivos Específicos

- Determinar las necesidades y limitaciones para el diseño del robot para niños y niñas de 9 a 12 años de edad
- Diseñar los elementos mecánicos y circuitos electrónicos del robot asistente.
- Programar el algoritmo de control del robot asistente
- Fabricar las partes del robot asistente

Hipótesis

Por medio del diseño y la construcción de un robot asistente, se contribuirá en la mejora del aprendizaje de los niños y niñas de 9 a 12 años.

Variables de la Investigación

Variable Independiente

Robot asistente

Variable Dependiente

Contribuir al aprendizaje de niños y niñas de 9 a 12 años de edad.

Metodología STEAM

Hablar de STEAM es tratar con un nuevo enfoque ligado al cambio en el proceso pedagógico en el país. El término STEAM hace referencia a las disciplinas académicas: ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas. La metodología STEAM genera un proceso de educación participativa y jerarquizada (Celis & González, 2021).

En la Figura 1 se presenta una pirámide de aprendizaje en el que se identifica que un estudiante aprende más cuando dice y hace, es decir participa activamente de su clase, esta pirámide fue desarrollada por (Dale, 1969)

Figura 1

Pirámide de aprendizaje de Dale



Nota. Tomado de ("La pirámide de aprendizaje," 2021).

(Sanders, 2009) en su artículo indica que la metodología STEAM tiene su inicio en la década de 1990, cuando la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) de Estados Unidos utilizó el acrónimo STEM haciendo referencia a la ciencia, tecnología, ingeniería y matemática. La premisa de la fundación era fusionar estas cuatro áreas del conocimiento para crear un nuevo enfoque educativo. Se buscaba combinar de manera eficaz estas disciplinas para promover el pensamiento crítico y reflexivo en la resolución de problemas.

Educación STEAM

La educación STEAM se centra en incluir ramas del saber ligadas a su acrónimo, el objetivo principal de la educación STEAM es que el alumno fomente el pensamiento en la resolución de problemas de gran magnitud y a su vez haga un análisis profundo de lo mismo (Yakman, 2008). La interconexión de estas áreas según (Bybee, 2013) proporciona a los estudiantes tener una mejor comprensión de los conceptos, de igual manera que promueve la aplicación práctica del conocimiento teórico y con la incorporación de elementos artísticos inspira a la innovación y expresión individual.

La educación STEAM surge de manera estratégica con el objetivo de promover competencias digitales y un conocimiento profundo en diversas disciplinas académicas. Este enfoque educativo ofrece numerosas posibilidades de mejora en distintos ámbitos: social, económico, cultural y formativo con el aporte de nuevos elementos y recursos que se destinan a atender problemas contextuales y cooperativos en los aprendizajes de los niños y niñas, la flexibilidad del enfoque permite su accesibilidad a distintos niveles y modalidades educativas. (Aguirre et al., 2019)

Además, la educación STEAM no solo prepara a los estudiantes para futuras carreras en ciencia y tecnología, también fomenta el desarrollo de nuevas habilidades transferibles, que son esenciales para la vida y el trabajo moderno en el siglo XXI, (*STEM Integration in K-12 Education*, 2014) afirma que la educación STEAM fomenta la colaboración y el trabajo en equipo que son aspectos clave en esta metodología, conllevando a posteriores metas como resolución de problemas en entornos laborales profesionales.

Metodología STEAM en niños menores a 12 años

La implementación de la educación STEAM en niños y niñas de 9 a 12 años sobresale como una estrategia educativa eficiente, la integración de las disciplinas busca estimular el pensamiento crítico y la resolución de problemas en niños y niñas de estas edades, las

habilidades y el conocimiento interdisciplinario de la metodología STEAM en esta edad sirve también como una pedagogía transferible y esencial para la vida futura afirma (Honey, 2013). La metodología STEAM para niños de 9 a 12 años de edad tiene un apoyo fuerte en el aprendizaje basado en proyectos, que es en el que los alumnos participan en proyectos prácticos en los que se requiere la aplicación, conocimiento y habilidades de muchas asignaturas para abordar estos problemas del mundo real, además, con el apartado del arte se fomenta la creatividad artística de los niños en el proceso de aprendizaje para encontrar soluciones creativas en la expresión de sus ideas y respuestas. (García Mejía & García Vera, 2020) en su artículo, subrayan la importancia de que los estudiantes del siglo XXI elaboren habilidades en múltiples disciplinas según la metodología STEAM, a niveles más avanzados de lo que se estimaba aceptable en el pasado, este énfasis surge principalmente debido al avance de las nuevas tecnologías. Es determinante destacar que esta perspectiva no implica la incorporación de nuevas asignaturas al plan de estudios de los alumnos, más bien, se enfoca en integrar la práctica tecnológica.

Robótica

La robótica se caracteriza por ser una disciplina que fusiona los saberes de la ingeniería, ciencia y tecnología con el propósito de innovar, desarrollar y poner en marcha robots. Estos dispositivos cuentan con la capacidad de programación, son versátiles en su capacidad para llevar a cabo una variedad de tareas, abarcando desde procesos industriales hasta intervenciones médicas. La evolución veloz de la robótica ha dejado una marcada influencia en diversos sectores, incluyendo la manufactura, la exploración espacial y la atención médica.

Los robots están diseñados para apoyar a los estudiantes y usuarios a mejorar su bienestar socioemocional y establecer vínculos afectivos con ellos (Gómez-León & Universidad Internacional de La Rioja, España, 2022)

Estimular el interés en la creación de dispositivos mecánicos funcionales a través de un proceso de aprendizaje gradual es esencial para el progreso educativo de los estudiantes. Es de gran relevancia destacar que hoy por hoy existen herramientas técnicas y tecnológicas accesibles que permiten la creación de componentes robóticos con un nivel de funcionalidad. (Márquez D. & Ruiz F., 2014)

La robótica constituye un símbolo de avance y progreso tecnológico, por lo que adquirir conocimientos en este ámbito es fundamental para alcanzar niveles óptimos de competitividad y productividad a futuro. Al despertar el interés por esta disciplina, se abre la puerta a su amplio espectro de aplicaciones, que abarcan desde la industria civil y militar hasta la medicina, el hogar, la exploración espacial y las operaciones de rescate, entre otros ámbitos. (Márquez D. & Ruiz F., 2014)

Robótica Social

El objetivo principal de la robótica social es el descifrar como un robot o prototipo robótico puede formar parte del día a día del ser humano y hallar la manera más factible para integrar dentro de las estructuras sociales y culturales existentes (Abad et al., 2017).

La robótica social ha ganado espacio dentro del día a día de las personas, este proceso facilita la ampliación del contacto e interacción entre humanos y robots, incorporando gradualmente a los robots en la vida social humana. La sociabilidad implica la presencia de relaciones interactivas, es decir, un agente con la capacidad de interactuar y mostrar un comportamiento comunicativo. En el ámbito de la robótica, la existencia de dos robots autónomos en el mismo entorno destaca aspectos importantes del contacto social (Perez & Castro, 2017).

Se argumenta que la mejor estrategia para lograr esta relación es mediante un enfoque experimental sistemático que se apoye en métodos de neurociencia fisiológica y conductual,

como el seguimiento ocular o del movimiento, la electroencefalografía o la espectroscopia funcional del infrarrojo cercano, integrados en paradigmas interactivos entre humanos y robots. Este enfoque requiere comprender cómo interactúan los humanos entre sí, cómo colaboran en tareas y cómo desarrollan sentimientos de conexión social con el tiempo, utilizando estos conocimientos para establecer principios de diseño que permitan a los robots sociales estar en sintonía con el funcionamiento del cerebro humano. (Wiese et al., 2017) en su artículo presenta la posibilidad de que los agentes artificiales sean considerados como compañeros sociales podría incrementarse si se diseñan de tal manera que se perciban como agentes con intenciones, lo que activaría áreas del cerebro humano relacionadas con el procesamiento sociocognitivo.

Robótica Educativa para niños y niñas

La robótica educativa facilita a los estudiantes la asimilación del conocimiento al permitirles construir representaciones de los fenómenos que les rodean y adquirir comprensión sobre dichos fenómenos y su aplicación en diferentes áreas del saber. Mediante la robótica educativa, es posible explicar de manera práctica y didáctica conceptos teóricos que no se entiende por parte de los niños. Además, fomenta el interés de los estudiantes por la tecnología, mejorando así la conexión entre el entorno tecnológico y los temas teóricos enseñados. Por consecuencia el entorno educativo que integre a la robótica promueve el desarrollo de nuevas destrezas y nociones innovadoras, mismas que van a reforzar el pensamiento sistemático, lógico y formal del usuario (Ruiz & Velasco, 2007).

Robótica educativa con metodología STEAM

Esta modalidad pedagógica se ha consolidado como un enfoque para abordar problemas que surgen en diversas áreas del conocimiento, como matemáticas, ciencias naturales, tecnología, ciencias de la información y comunicación, entre otras. (Escobar et al., 2016).

En este contexto, la educación científica hace hincapié en la experimentación, mientras que la educación tecnológica se centra en aspectos contemporáneos como la robótica, la programación y el dominio de códigos. La ingeniería se define como la disciplina que prepara a los estudiantes para identificar, desarrollar y aplicar soluciones a problemas del mundo real. El arte se considera un impulsor del pensamiento creativo e innovador, y las matemáticas juegan un papel fundamental en la práctica científica y tecnológica (Raposo et al., 2022).

Desde este punto de enfoque la robótica educativa se percibe como un recurso óptimo de pedagogía con un gran potencial para la educación de los estudiantes desde edades tempranas, es un elemento muy motivador para establecer ambientes educativos en los que se incluyan varias disciplinas (Benitti, 2012).

Robótica móvil

En la actualidad, la robótica móvil es considerada un área avanzada de la tecnología destinada a manejar problemas muy complejos que se constituyen en aplicaciones referentes al área de control, programación, inteligencia artificial y la instrumentación. Sirven de pilar fundamental para el avance en muchos campos de la industria ya que su desarrollo aporta soluciones innovadoras, el campo de la robótica se va desarrollando de a poco en todo momento.

La robótica móvil es un apartado muy importante dentro de la robótica según (Bulla et al., 2020) y que cuenta con un gran número de aplicaciones industriales. Es por este motivo que los robots móviles y robots híbridos deben ser uno de los temas de prioridad a estudio por un ingeniero mecatrónico, ya que con estos podrá implementar múltiples aplicaciones que solucionen problemas reales en la industria y en otros campos de interés, entre los que se encuentran: trabajos de inspección y operación en ambientes industriales u hostiles (sector petrolero, químico y plantas nucleares), mantenimiento e inspección en industrias de trabajo

rutinario, reconocimiento y escaneo en terrenos peligrosos para el acceso humano, entre otros. (Bulla et al., 2020)

Robots educativos con metodología STEAM

La enseñanza de la robótica ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos diez años en la mayoría de naciones. Los autómatas se están integrando progresivamente en la vida diaria de las personas, pasando de un ámbito meramente industrial a desempeñar labores domésticas. El objetivo de la robótica en la educación es desarrollar competencias idóneas para la sociedad contemporánea, como el trabajo colaborativo y la toma de decisiones en equipo (Pittí Patiño et al., 2012). A continuación, se presentan algunos de los modelos que existen de robots educativos.

mBot

mBot es un robot educativo desarrollado por la empresa Makeblock , es un robot ideal para trabajar con los niños por su robustez, facilidad de programación y es un buen inicio para los estudiantes en la metodología STEAM, su programación se la puede realizar mediante un ordenador, tablet o teléfono celular y tiene estructura de bloques, el robot ensamblado se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Robot mBot



Nota. Tomado de (mBot Robot kit for Beginners to Learn Block Based Coding and Arduino / Makeblock, n.d.)

LEGO MINDSTORMS Robot Inventor

El nuevo Robot Inventor es un kit de la gama LEGO MINDSTORMS que está diseñado para que los niños se diviertan mediante la construcción y programación de robots. Dentro de su kit incorpora 949 piezas, motores y sensores que al combinarlos permiten crear distintos modelos de robots, para su programación se realiza mediante una aplicación en el entorno Scratch e incorpora 50 actividades diferentes (ROBOTIX, n.d.) En la Figura 3 se muestra el Robot Inventor.

Figura 3

Robot creado con el Kit Robot Inventor



Nota. Tomado de (ROBOTIX, n.d.)

VEX 123

VEX 123 es un robot programable con metodología STEM, se trata de un robot móvil de característica cilíndrica que se puede programar de varias formas, entre ellas Scratch, botones en el dispositivo o un codificador que se incluye en el kit que se muestra en la Figura 4. (*Uso del robot VEX 123, 2023*)

Figura 4

Kit del robot VEX 123



Nota. Tomado de (Vex 123 y El Proyecto de Robótica Educativa VEX, n.d.)

Capítulo II

Diseño de Concepto

Los proyectos que cuentan con la metodología STEAM involucran el trabajo en equipo de los niños y niñas, esto a su vez fomenta una inclusión dentro del aula de trabajo y la convivencia entre alumnos, lo que beneficia a su aprendizaje y relación infantil.

La propuesta es diseñar y fabricar un robot para el aprendizaje de niños en una edad de 9 a 12 años, basado en la metodología STEAM. El robot les proporciona una forma entretenida y colaborativa de aprender teniendo como base la ciencia, tecnología, ingeniería, matemática y el arte. Al utilizar el robot pueden aprender asignaturas acordes a su edad mediante juegos e información educativa que permite la verdadera inclusión para los niños.

Metodología

Para hacer posible este proyecto se realiza en base a la norma VDI 2206 o mejor conocida como norma en forma de V, esta norma técnica trata sobre la gestión de proyectos y está dirigida principalmente a ingenieros y profesionales involucrados en el desarrollo de sistemas en una amplia gama de industrias. Entre los aspectos clave que aborda esta norma se encuentran la definición de los objetivos del proyecto, la planificación y programación del proyecto, la asignación de recursos, la gestión de riesgos, la comunicación y cooperación dentro del equipo del proyecto, así como la evaluación y control del progreso del proyecto.

Norma VDI 2206

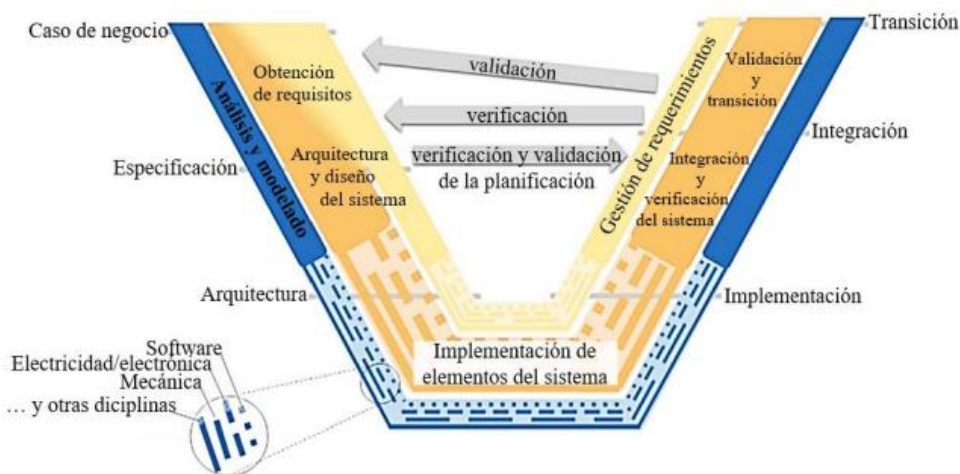
La norma VDI 2206 es una guía técnica alemana desarrollada por la Asociación de Ingenieros Alemanes, la cual asiste el proceso de diseño de un producto mecatrónico. En base a esta norma al empezar el proyecto se debe realizar una adquisición de requisitos del usuario que al avanzar con el proyecto se transformarán en las características técnicas necesarias para fabricar el producto y de esta manera realizar una división en diferentes módulos al proyecto

general, los requisitos obtenidos en un principio sirven para evaluar si el proyecto final cumple con lo establecido. (Gausemeier & Moehring, 2003).

En la Figura 5 se presenta la estructura del modelo V con el que se trabajará en el proyecto, el primer enfoque de subdivisión en módulos independientes al proyecto general se encuentra en la parte izquierda del modelo.

Figura 5

Modelo V



Nota. Tomado de (Chancusig Llano & Puentes Benalcázar, 2023)

El enfoque de abajo hacia arriba corresponde a la parte de implementar los elementos del sistema, es decir los resultados de cada dominio se integran generando un sistema completo, verificando que se cumplan con los requisitos y que las características reales del producto coincidan con el diseño. (Gausemeier & Moehring, 2003)

Matriz de calidad

Para verificar que los requerimientos se cumplan se utiliza la matriz de calidad, de esta manera se atiende a los requerimientos del público en cuestión y se define los aspectos que se

debe tener en cuenta para solventar los problemas y circunstancias que planteen los niños. La matriz de calidad en este producto se coloca al inicio de la norma VDI 2206.

Identificación de las necesidades

Al hablar de las necesidades en la norma VDI se refiere a las características que requiere el público sobre el producto final, para ello se ha realizado una lluvia de ideas en conjunto con los miembros del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) de la provincia de Cotopaxi, en el Anexo 1 se encuentra la lista de participantes, los mismos que son especialistas en educación y trabajan con niños de 9 a 12 años que es a quienes está dirigido el robot. En la Tabla 1 se muestra los requerimientos solicitados por los educadores en base a conocimiento y percepción del día a día de los niños, en el cual su orden de importancia va de una escala del 1 al 5, siendo el valor 5 el de mayor importancia en la escala.

Tabla 1

Requerimientos del cliente

N°	Requerimientos del cliente	Importancia
1	Materiales duraderos	4
2	Interacción entre el robot y el niño	4
3	Fácil entendimiento de uso	4
4	Larga duración de la batería	5
5	Tenga pantalla	4
6	Expresión de emociones	5
7	Cuenta con accesorios	5
8	Recargable	4

N°	Requerimientos del cliente	Importancia
9	Texturas en el robot	3
10	Piezas no tan pequeñas	3
11	Bajo costo	4
12	Incluya juegos	5
13	Debe tener rostro	4
14	Tableros para jugar con el robot	4
15	Apariencia llamativa	5
16	Colores llamativos	5
17	Diseño para niños	5
18	Fácil transporte en la maleta	4

Nota. Necesidades adquiridas en una charla mediante una lluvia de ideas de los educadores del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) de la ciudad de Latacunga, con escala del 1 al 5 siendo la escala 1 la de menor importancia.

Definición de características técnicas

Una vez obtenido los datos de requerimientos por parte de los educadores para el robot de los niños es necesario interpretar los datos en características técnicas del producto las mismas que deben estar ligadas a las demandas planteadas y deben ser medibles, en la Tabla 2 se detallan estos valores y se ordena acorde a su importancia, siendo 1 el valor menos importante y 5 el más importante.

Tabla 2*Características técnicas para el robot*

N°	Características Técnicas	Importancia	Unidades
1	Estética	4	Subjetivo
2	Diseño Portátil / modular	5	Cm
3	Resistencia Mecánica	4	Pa
4	Costo	4	Dólares
5	Capacidad de la batería	5	mA/h
6	Facilidad de uso	4	Subjetivo
7	Peso	4	Kg
8	Accesorios	4	Si/No
9	Tableros complementarios	4	Si/No
10	Conexión móvil	5	Si/No
11	Módulos de aprendizaje	5	Lista
12	Expresión de emociones	5	Lista

Nota. Características técnicas obtenidas en base a los datos de requerimiento de los miembros de MIES.

Una vez definido los requerimientos del usuario y las características técnicas para la fabricación del robot se elabora la matriz de calidad (QFD), para ello se considera el procedimiento propuesto en (Riba Romeva, 2002) en el que plantea los factores de incidencia como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Factores de incidencia

Símbolo	Descripción	Valor
⊙	Fuerte	9
○	Medio	3
▽	Bajo	1

Nota. Se considera con el valor de cero cuando no tenga ningún símbolo.

De acuerdo con (Riba Romeva, 2002), se necesita de factores de venta que son datos de las demandas que se consideran importantes para la venta del producto. En la Tabla 4 se muestra el símbolo, la descripción y el valor de cada factor de venta propuesto para este proyecto.

Tabla 4

Factores de venta

Símbolo	Descripción	Valor
●	Fuerte	1.5

Símbolo	Descripción	Valor
●	Posible	1.2
	Ningún	1

Nota. Datos tomados de (Riba Romeva, 2002)

Con la matriz QFD realizada, el cual su desarrollo se encuentra en Anexo 2, se detalla los requerimientos del usuario, en este caso educadoras y educadores del área de inclusión y pedagogía, que fue la base para definir las características técnicas del robot, posterior a ese análisis se realizó la evaluación de los requerimientos en escalas frente a la competencia obteniendo las ponderaciones adecuadas para el desarrollo del proyecto. En la matriz QFD también se ha definido la relación entre requerimientos y características y al final se procede al análisis en base a las ponderaciones obtenidas que se pueden observar en la Tabla 5 ordenadas jerárquicamente.

De acuerdo a los resultados de QFD, las características técnicas de mayor valoración son: Los módulos de aprendizaje con un 10,96% dando como resultado a la métrica más importante ya que el objetivo del robot es enseñar a los niños y niñas por medio de la metodología STEAM; el diseño portátil y modular con un 9,9%, destaca que el robot debe tener un dimensionamiento adecuado para que el niño lo pueda llevar en su maleta sin ningún inconveniente; la estética es también importante ya que de eso depende la aceptación del robot en el día a día del niño con una ponderación de 9,71%; le sigue la resistencia mecánica con un 9,3% dando como resultado evidente que se necesita un robot de materiales rígidos para que no sufra inconvenientes en alguna caída o mala manipulación del mismo; de la misma manera el peso con una ponderación de 8,63% entra en el ranking de las cinco características necesarias del robot ya que si es muy pesado el niño o niña no lo va a querer utilizar mucho

tiempo ni transportarlo; por último la capacidad de la batería es primordial para que el robot socialice con el usuario un tiempo prudencial y pueda disfrutar de todo el contenido del mismo. Estas son las cinco características con mayor puntuación y por ende se debe tener más consideración en el cumplimiento de estas características durante la ejecución del proyecto.

Tabla 5

Datos finales de la matriz QFD

Ítem	Características Técnicas	Incidencia	Porcentaje
1	Módulos de aprendizaje	292.5	10.96%
2	Diseño portátil y modular	264	9.90%
3	Estética	259.2	9.71%
4	Resistencia mecánica	247.5	9.3%
5	Peso	230.4	8.63%
6	Capacidad de la batería	217.5	8.15%
7	Costo	210	7.87%
8	Expresión de emociones	195	7.3%
9	Tableros complementarios	168	6.3%
10	Conexión móvil	165	6.18%
11	Facilidad de uso	163.2	6.11%
12	Accesorios	140	5.24%

Comparación con la competencia

Con la información adquirida se examina la amplitud del uso del robot en el proceso educativo de los niños y niñas, contrastando con las prestaciones ofrecidas por otros competidores en el mercado. Esta evaluación se fundamenta en las especificaciones de los productos de la competencia, lo que facilita su comparación con los requisitos del cliente. A

partir de esta revisión, se toman determinaciones acerca de las características que se integrarán en el robot.

En la Tabla 6 se pueden analizar las especificaciones técnicas de los productos vinculados a la robótica educativa disponibles en el mercado. Estos productos son comparados según métricas de comparación que consideran tanto los requisitos del cliente como las características técnicas. Entre las opciones evaluadas se encuentran: (*mBot Robot kit for Beginners to Learn Block Based Coding and Arduino / Makeblock*, n.d.) y (*Uso del robot VEX 123*, 2023).

Tabla 6

Comparación con productos del mercado

Métricas	Unidades	mBot	VEX 123
Pantalla	Si/No	No	No
Módulos de aprendizaje	Si/No	4	3
Número de sensores	Cantidad	3	3
Conexión móvil	Si/No	Si	Si
Capacidad de la batería	mAh	1800mAh	1200mAh
Modular	Si/No	Si	No
Tamaño	In	6.7"x5.1"x3.5"	3.15"x3.15"x1"
Número de actuadores	Cantidad	4	2

Métricas	Unidades	mBot	VEX 123
Tableros complementarios	Si/No	No	Si
Accesorios	Si/No	Si	SI
Costo	Dólares	\$130	\$145
Número de ruedas	Cantidad	2	2
Disponibilidad en nuestro medio	Si/No	No	Si

Nota. Los detalles de cada producto se consultaron en las páginas oficiales de cada robot y la disponibilidad en el medio se consultó en las principales tiendas de robótica del país.

Valores objetivos a alcanzar

Teniendo en cuenta las métricas más importantes presentadas en la Tabla 6 las especificaciones técnicas necesarias para un robot diseñado para la educación de niños de 9 a 12 años, se establece en un estándar óptimo y un estándar mínimo que el robot debe cumplir. El estándar óptimo representa el rendimiento deseado más alto que el robot puede alcanzar, mientras que el estándar mínimo indica el nivel aceptable que el robot debe tener, como se ilustra en la Tabla 7.

Tabla 7

Estándares mínimos e ideales para el robot

Métrica	Unidades	Estándar Mínimo	Valor Ideal
Pantalla	Si/No	Si	Si

Métrica	Unidades	Estándar Mínimo	Valor Ideal
Módulos de aprendizaje	Lista	3	> 3
Número de sensores	Cantidad	2	> 2
Conexión móvil	Si/No	Si	Si
Capacidad de la batería	mAh	1200mAh	> 1200mAh
Modular	Si/No	Si	Si
Tamaño	Cm	15x15x15 cm	< 15x15x15 cm
Número de actuadores	Cantidad	2	>2
Tableros complementarios	Si/No	Si	Si
Accesorios	Si/No	Si	Si
Costo	Dólares	\$130	<\$130
Estética	Subjetivo	-	-
Resistencia mecánica	Pa	15MPa	20MPa
Facilidad de uso	Subjetivo	-	-

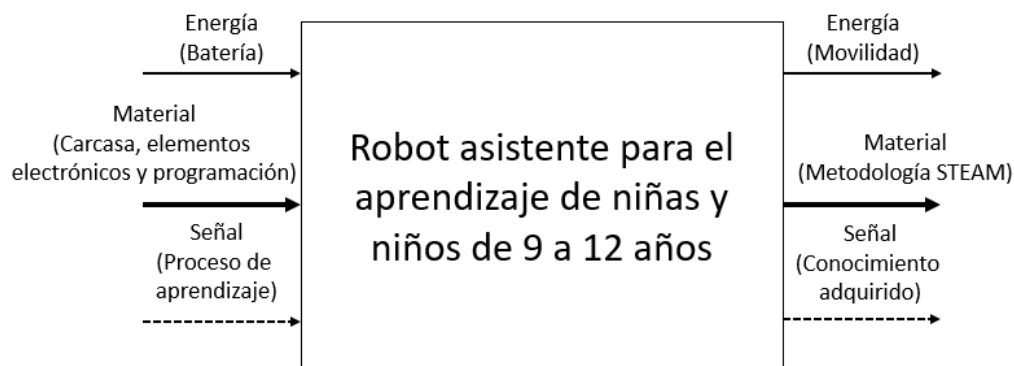
Generación de conceptos

De acuerdo con (Ulrich & Eppinger, 2013) “El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente”.

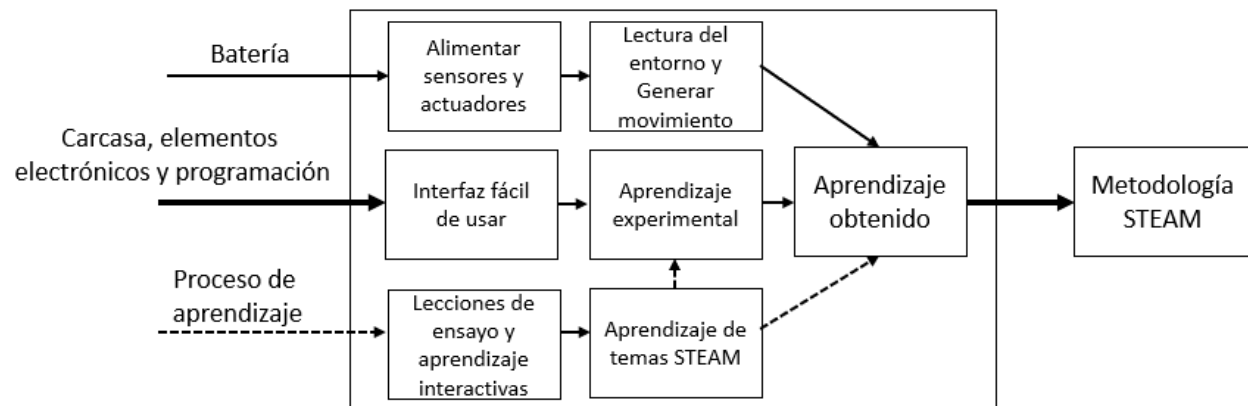
(Ulrich & Eppinger, 2013) propone la segmentación del problema y para ello presenta al proyecto como una caja negra representada en la Figura 6.

Figura 6

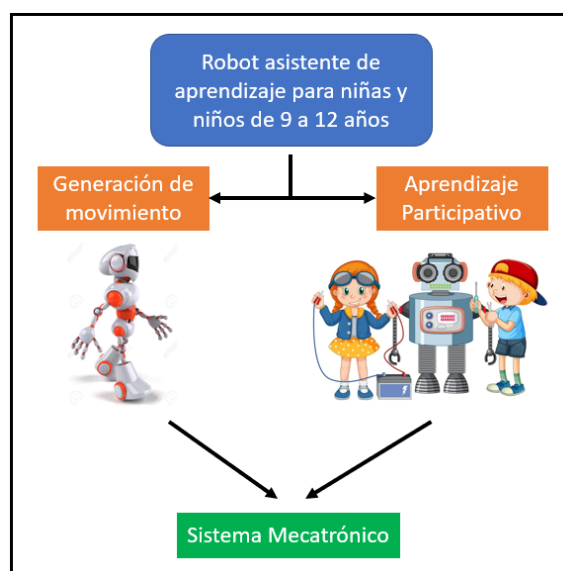
Caja negra del proyecto



(Ulrich & Eppinger, 2013) estipula que el siguiente paso es segmentar a la caja negra en subfunciones con el objetivo de generar más especificaciones del producto que no se pudieron tomar en cuenta en la descripción general. En la Figura 7, se muestran las subfunciones del proyecto.

Figura 7*Subfunciones del proyecto*

(Ulrich & Eppinger, 2013) propone realizar una búsqueda externa para comparar el proyecto con productos relacionados, de tal manera que se genere una amplia gama de conceptos para abordar las necesidades del proyecto de manera efectiva. Los sistemas generales del proyecto se muestran en la Figura 8.

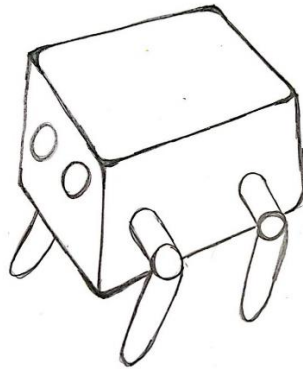
Figura 8*Sistema general para el robot asistente*

Concepto A

En el primer concepto que se muestra en la Figura 9, corresponde a un robot de 4 extremidades inferiores, el cuerpo tiene una forma de rectángulo redondeado, su tracción será mediante servomotores y en el frente lleva un sensor ultrasónico que simulan sus ojos.

Figura 9

Concepto A "Robot cuadrúpedo"

**Concepto B**

El Segundo concepto que se muestra en la Figura 10 se trata de un robot del tipo humanoide que cuenta con sus extremidades en base a rectángulos, propio de este tipo de robots, su tracción la tiene en las extremidades inferiores y se movería mediante servomotores, en la cabeza cuenta con un rostro que puede ser una matriz led.

Figura 10

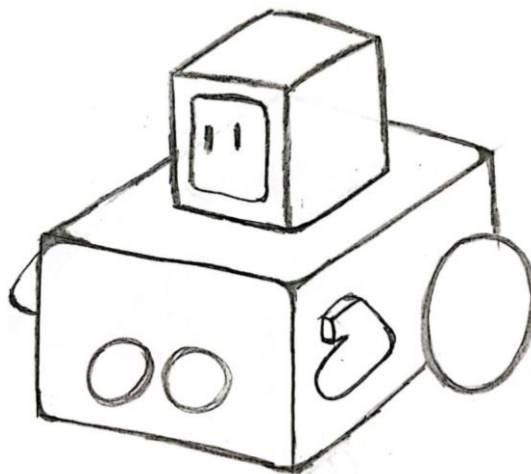
Concepto B "Robot Humanoide"

**Concepto C**

El tercer concepto hace referencia a un robot móvil que tiene dos ruedas en la parte inferior posterior que son su medio para moverse, además cuenta con un sensor ultrasónico en la parte inferior para detección de obstáculos, en la parte superior tiene una cabeza en forma cuadrada y que cuenta con una pantalla para presentar emociones, en los laterales posee un par de manos que puede ser como accesorio o motrices y también las orejas.

Figura 11

Concepto C "Robot móvil"



Selección de conceptos

De acuerdo con los requerimientos del usuario y siguiendo con la metodología de (Ulrich & Eppinger, 2013) se realiza la ponderación de los conceptos en la Tabla 8, con criterios de 5 siendo la más alta calificación y 1 la más baja.

Tabla 8

Evaluación de conceptos

Criterios de selección	Peso	Concepto A		Concepto B		Concepto C	
		Calif.	Eval. Pond.	Calif.	Eval. Pond.	Calific.	Eval. Pond.
Cumplimiento de métricas	20%	3	0,6	2	0,4	4	0,8
Diseño para la manufactura	15%	3	0,45	2	0,3	4	0,6
Fácil montaje	10%	2	0,2	1	0,1	4	0,4
Peso	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Estética	10%	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Portabilidad	20%	2	0,4	3	0,6	4	0,8
Tiempo de ejecución	5%	2	0,1	2	0,1	2	0,1
Precio	10%	2	0,2	3	0,3	2	0,2
Total			2,65		2,5		3,6
Lugar			2		3		1

Concluida la evaluación de conceptos, se determinó que la opción más adecuada es el Concepto C. Este consiste en un robot móvil diseñado para ser portátil y compacto, capaz de cumplir con todas las especificaciones técnicas requeridas para satisfacer las necesidades del proyecto.

El propósito de este kit es permitir que los niños puedan ensamblar el robot, lo que les ayudará a desarrollar sus habilidades de pensamiento espacial. Además, el kit estará acompañado de una aplicación móvil que ofrecerá una plataforma de control del robot basada en lecturas de colores en un tablero complementario y también contará con módulos de enseñanza enfocados en las áreas correspondientes a STEAM y que a su vez estará específicamente diseñada para adaptarse a las habilidades de los niños.

Selección de componentes electrónicos

En el diseño electrónico se consideran muchos aspectos que cumplirá el robot en cuanto a movilidad, medición de distancia y detección de colores. Para la movilidad del robot se necesita incorporar motores, los motores al ser un robot portátil deben trabajar en corriente directa, el sensor que se utilizará para la medición de distancia es un ultrasónico que emite señales que chocan con objetos y vuelven al sensor para determina la distancia entre ambos objetos y el sensor de color para detectar en que superficie de color está trabajando el robot. También se incluirá una pantalla que proporcione una estimulación visual al usuario. Todos estos sensores, actuadores y pantalla requerirán de una unidad de procesamiento para su control. En este sentido, se seleccionarán un microcontrolador y los componentes principales necesarios.

Selección de la tarjeta controladora

Se procede a la selección del componente que funcionará como el núcleo central del robot, para ello se debe tener en cuenta aspectos importantes para el funcionamiento adecuado del robot, entre ellos está la rapidez de procesamiento, rápida conexión, rápida respuesta, voltaje de operación y la cantidad de entradas y salidas que se requiera para conectar los sensores y actuadores que influyen en este proyecto.

Tabla 9*Características técnicas de los procesadores*

	ESP WROOM 32 38 Pines	Arduino UNO R3	Blue Pill STM32
Conexión Inalámbrica	Wifi + Bluetooth	No posee	No posee
Dimensiones	7x5x3 cm	7.4x5.3x1.5 cm	2.5x5.5 cm
Pines digitales	24 GPIO	14	37
Pines analógicos	18 ADC	6	10 ADC
Velocidad del procesador	2.4GHz	0.016 GHz	0.084 GHz
Memoria Flash	4MB	32 KB	128 KB
Memoria RAM	520 KB	2 KB	20 KB
V. de Alimentación	5V DC	5V DC	5V DC

Nota. Los valores obtenidos de esta tabla se tomaron de (“STM32F103C8T6 Tarjeta de Desarrollo Cortex M3,” 2022) (*Arduino Hardware*, 2022) (UNIT, 2020)

Para determinar el mejor procesador se analizan las alternativas presentadas en la Tabla 9, teniendo en cuenta los criterios de selección más pertinentes, los cuales están ponderados de acuerdo a lo indicado en la Tabla 10.

Tabla 10

Puntuaciones para la ponderación de los criterios de selección

N°	Descripción
0	El criterio de las filas es menor que el de las columnas
0.5	El criterio de las filas es igual que el de las columnas
1	El criterio de las filas es mayor que el de las columnas

Los criterios de selección se muestran en la Tabla 11 y se ponderan en función de su relevancia y su interrelación, de acuerdo a los requerimientos se otorga mayor importancia a la velocidad de respuesta y ejecución.

Tabla 11

Criterios de selección para el procesador

Criterio	Número de pines	Tamaño	Velocidad de Procesamiento	Conexión Inalámbrica	$\sum +1$	Pond.
Número de pines	-	0.5	0	0.5	2	20%
Tamaño	0.5	-	0	0	1.5	15%
Velocidad de Procesamiento	1	1	-	0.5	3.5	35%
Conexión Inalámbrica	0.5	1	0.5	-	3	30%
Total					10	100%

En la Tabla 12, se evalúan las alternativas de procesadores dentro de un rango de calificación, donde 1 representa la calificación más baja y 3 la más alta. Estas calificaciones se

asignan según las características técnicas indicadas en la Tabla 9, y se determina que la ESP WROOM 32 de 38 pines es la alternativa ganadora.

Tabla 12

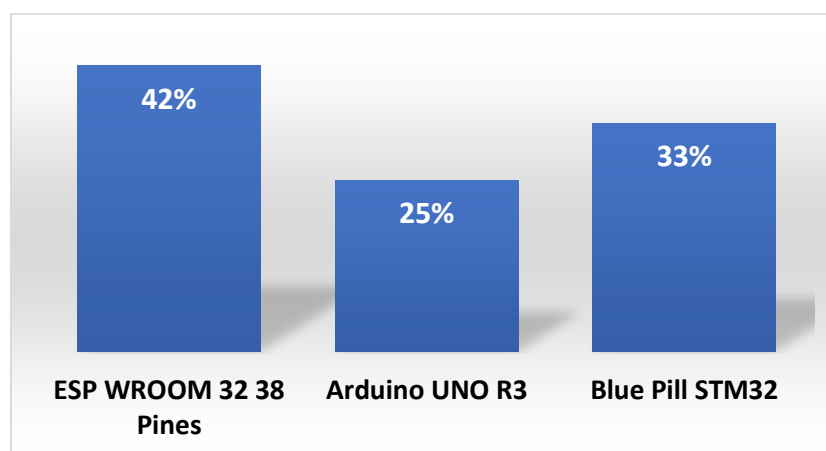
Calificación de alternativas para la tarjeta procesadora

	Número de pines	Tamaño	Velocidad de procesamiento	Conexión Inalámbrica	Ponderación
ESP WROOM 32 38 Pines	2	2	3	3	10
Arduino UNO R3	1	1	2	2	6
Blue Pill STM32	3	3	1	1	8
Σ	6	6	6	6	24

En la Figura 12 se representa los resultados porcentuales de la selección de las alternativas para la tarjeta controladora.

Figura 12

Resultados de la selección del procesador



Movimiento del robot

Con el propósito de fomentar el aprendizaje y captar la atención de los niños y niñas es crucial estimular sus sentidos visuales. Por lo tanto, el robot responderá mediante movimientos y para lograr esto se requerirá el uso de motores que en este caso utilizaremos motores de corriente directa. A continuación, se detalla el proceso de selección de estos motores.

Selección de motores

La Tabla 13 proporciona alternativas de motores ideales para generar movimiento en el robot, cabe recalcar que los motores presentados en esta tabla se consideraron de acuerdo al tamaño reducido, el voltaje con el que trabajan y la fácil mantenibilidad.

Tabla 13

Características técnicas de los motores DC

	Micro Motor N20 30	Micro Motor N20 50	Motor reductor Amarillo doble eje
Encoder	Si	Si	No
Tamaño	12x44x10 cm	12x44x10 cm	8x3.2x3.5 cm
Consumo de corriente	200 mA	250 mA	300mA
Velocidad	600 rpm	800 rpm	175
Voltaje	6V	6V	3 – 6V
Torque	1.6 Kg*cm	1.4 Kg*cm	1.1 Kg*cm

Nota. Tomado de (*Micromotor DC12V N20 600rpm 1*, n.d.) (*Motorreductor amarillo para Arduino®*, n.d.) y (*Micromotor N20 6V 1000 RPM 10*, n.d.)

En la Tabla 14 se presentan los criterios de selección, a los cuales se les asigna un valor ponderado en base a su relevancia y su relación mutua, otorgando una mayor relevancia al torque y al consumo de corriente.

Tabla 14

Criterios de selección para el motor DC

Criterio	Velocidad	Torque	Voltaje de operación	Consumo de corriente	$\sum +1$	Pond.
Velocidad	-	0.5	0	0	1.5	15.80%
Torque	0.5	-	1	0.5	3	31.58%
Voltaje de operación	1	0	-	0.5	2.5	26.31%
Consumo de corriente	1	0	0.5	-	2.5	26.31%
Total					9.5	100%

En la Tabla 15 se evalúan las opciones para el motor DC dentro de un rango de calificaciones, donde 1 representa la calificación más baja y 3 la más alta, según las características técnicas descritas en la Tabla 13. La alternativa seleccionada como ganadora es el Micro Motor N20-30, que incluye un encoder.

Tabla 15

Calificación de alternativas para el motor DC

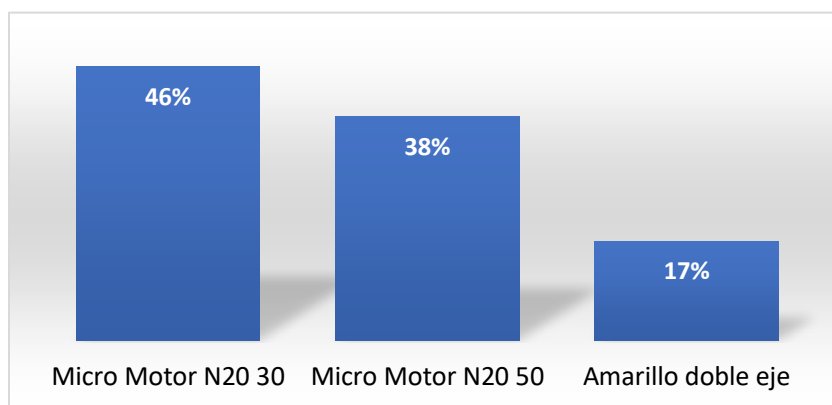
	Velocidad	Torque	Voltaje de operación	Consumo de corriente	Ponderación
Micro Motor N20 30	2	3	3	3	11

	Velocidad	Torque	Voltaje de operación	Consumo de corriente	Ponderación
Micro Motor N20 50	3	2	2	2	9
Motor reductor Amarillo doble eje	1	1	1	1	4
Σ	6	6	6	6	24

En la Figura 13 se muestra los resultados de la selección del motor para dar motricidad al robot.

Figura 13

Resultados de la selección del motor



Nota. Los resultados presentados son el resultado de asociar la ponderación de cada criterio de selección con las calificaciones asignadas a las alternativas.

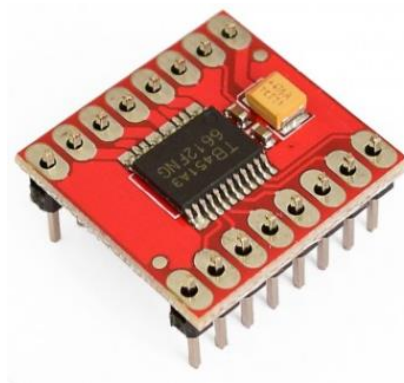
Descripción del controlador del motor

Los Micro Motores DC N20-30 requieren de un controlador para su funcionamiento, por lo que se opta por el Driver TB6612FNG. Este controlador es adecuado ya que puede manejar motores de hasta 12 V, lo que es compatible con los motores seleccionados que operan a 6 V.

Además, el controlador puede suministrar una corriente de salida de 1.2 A, lo cual es suficiente para alimentar ambos motores. El voltaje de entrada del controlador es de 5 V, que es el voltaje estándar utilizado en la mayoría de la electrónica del robot (*TB6612FNG Driver para motor DC – Novatronic, n.d.*).

Figura 14

Driver TB6612FNG



Nota. Tomado de (*TB6612FNG Driver para motor DC – Novatronic, n.d.*)

Descripción del sensor de distancia

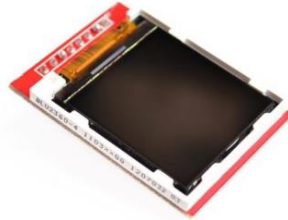
El robot móvil debe contar con la capacidad de evitar colisiones y/o censar distancias para proteger su estructura y proporcionar una forma de interacción con el usuario. Para lograr esto, se utilizará un sensor ultrasónico HC-SR04, que se muestra en la Figura 15, debido a sus características favorables. Estas incluyen un bajo consumo de corriente de 15 mA, un amplio rango de medición de 2 cm a 400 cm, y su funcionamiento con 5 V. Aunque su resolución de 0.3 cm no se considera de alta precisión, se considera aceptable para la aplicación en cuestión, lo que lo convierte en la mejor opción para este propósito.

Figura 15*Sensor Ultrasónico HC-SR04*

Nota. Tomado de (*HCSR04 Sensor ultrasónico – Novatronic, n.d.*)

Descripción de la pantalla

Uno de los requerimientos es que el robot cuente con una pantalla en la que se muestre el rostro del robot, por este motivo se considera colocar una pantalla de proporciones que resalten frente al cuerpo del robot, se considera utilizar una pantalla TFT que se utiliza para generar imágenes de color en alta calidad, además que genera un color de características precisas tiene también una rápida respuesta en los píxeles lo que le hace ideal para la aplicación que va a cumplir. Debido al contenido de sensores y baterías, además de motores que va a tener el robot, se prevé que su cuerpo sea de dimensiones grandes, por lo que la pantalla debe ser acorde a las dimensiones. Para el caso se utiliza una pantalla TFT con una resolución de 128X128 píxeles la cual se colocará en la parte superior del robot simulando el rostro del mismo. El voltaje que maneja la pantalla es de 5V al igual que la gran mayoría de los componentes del robot lo que le hace ideal en términos de alimentación, en la Figura 16 se muestra la pantalla a utilizar.

Figura 16*Pantalla TFT 128x128 SPI*

Nota. Obtenido de (Display Pantalla Lcd TFT 1.44 Pulgadas 128x128 Spi ILI9163 5V 3.3V - yrobotics, 2021)

Descripción del sensor de color

El robot necesita tener interacción con los alumnos por medio de juegos, por lo que se ha optado por agregar un sensor de color al robot el mismo que guiará al robot en un tablero complementario para que los niños puedan armar circuitos y que el robot logre superar adecuadamente. Tomando en cuenta el requisito del costo del robot se opta por colocar un sensor de color comercial y de rápida disponibilidad en el medio y que se puede conectar y es compatible con la tarjeta de programación seleccionada. El sensor de color es un dispositivo novedoso para los niños y ayuda mucho en el aprendizaje de los colores y motiva continuar con la operación del robot.

Figura 17*Sensor de color TCS3200 GY-31*

Selección de la batería

En la Tabla 16 Se detallan las mejores propuestas de baterías con sus características para que el robot tenga una autonomía fiable.

Tabla 16

Características técnicas de las baterías

	Samsung 18650 Li-ion	Lipo Turnigy 1s	MH12210 Li-ion
Tipo de batería	Litio-Ion	Polímero de litio	Litio-Ion
Voltaje	3.7V	3.7V	3.7V
Capacidad	2500 mAh	650 mAh	2200 mAh
Peso	45 g	20 g	100 g
Temperatura	40 ° C	40 ° C	50 ° C
Dimensiones	1.8x6.5cm	5.3x3.1x1cm	2x7 cm

Nota. Tomado de (*Baterías 18650 Samsung 25r 2500mah Nuevas 100% Original Vape - U\$S 11,98*, n.d.), (Amazon, n.d.) (*Bateria LiPo Turnigy Nano-Tech Plus 650mAh 1S 70C – Novatronic*, n.d.)

En la Tabla 17; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los criterios de selección, a los cuales se les asigna un valor ponderado en base a su relevancia y su relación mutua, de acuerdo a los requerimientos se desea un diseño compacto y que a su vez tenga una buena capacidad de la batería.

Tabla 17*Criterios de selección para la batería*

Criterio	Dimensiones	Capacidad	Peso	Temperatura	$\sum +1$	Pond.
Dimensiones	-	0.5	1	1	3.5	36.84%
Capacidad	0.5	-	1	0.5	3	31.56%
Peso	0	0	-	0.5	1.5	15.8%
Temperatura	0	0	0.5	-	1.5	15.8%
				Total	9.5	100%

En la Tabla 18 se califica a las alternativas para la batería, definiendo un rango de 1 a la de menor calificación y 3 a la de mayor calificación, de acuerdo a las características técnicas establecidas.

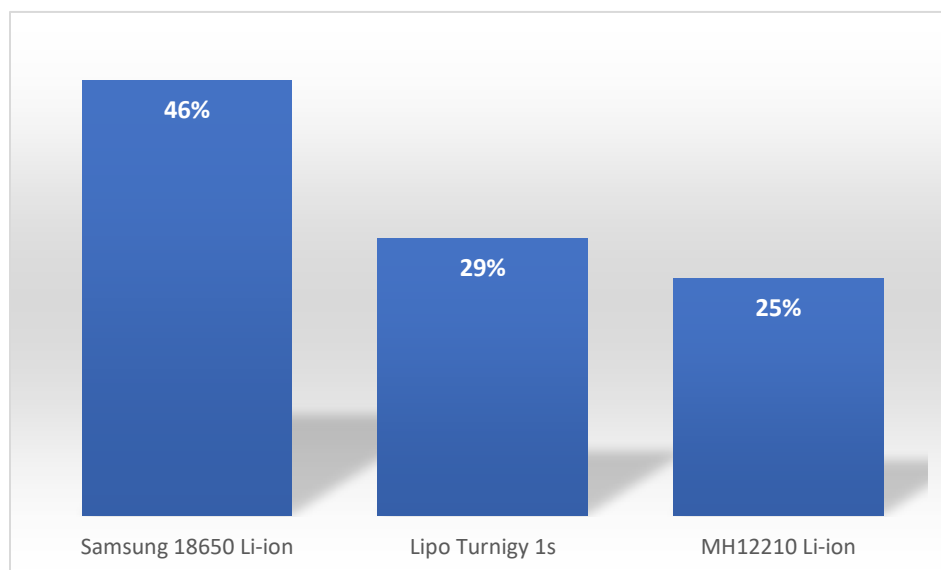
Tabla 18*Calificaciones de alternativas para la batería*

	Dimensiones	Capacidad	Peso	Temperatura
Samsung 18650 Li-ion	3	3	2	3
Lipo Turnigy 1s	1	1	3	2
MH12210 Li-ion	2	2	1	1
Σ	6	6	6	6

En la Figura 18 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la selección de la batería, dando como ganador a la batería Samsung 18650 Li-ion la cual es compacta por sus dimensiones y ayuda a que el diseño del robot sea compacto, además de poseer una buena capacidad de batería y en conjunto con su peso que cumple con el otro requerimiento de ser portable y liviano para el usuario.

Figura 18

Resultados de la selección de la batería



Nota. Los resultados presentados son el resultado de asociar la ponderación de cada criterio de selección con las calificaciones asignadas a las alternativas.

Selección de software de desarrollo

Para el proceso de desarrollo de software es necesario considerar varios aspectos importantes como la compatibilidad con los sistemas operativos móviles más utilizados en este caso iOS y Android. Otro aspecto relevante es la elección de un software que sea de código abierto y que su interfaz de programación sea fácil de usar. En la se detallan las opciones más destacadas de software para el desarrollo de la aplicación móvil con sus características principales. En la Tabla 19 se presentan alternativas de software ideales para el desarrollo del aplicativo.

Tabla 19*Características técnicas de las plataformas de programación*

	Unity	Flutter	Appy Builder
Programación	C#	Dart	Bloques
Software Libre	Si	Si	SI
Compatibilidad	Si	Si	No

Nota. Tomado de (*Qué es Unity y características principales*, 2019), (*¿Qué es Flutter?*, n.d.) y (*Appy Builder: Una App Para Crear Apps Android, Sin Programar*, n.d.)

La Tabla 20 detalla los factores considerados para la selección, asignando un valor ponderado a cada uno según su relevancia y su relación con otros aspectos. Una de las condiciones especificadas es la inclusión de un método de programación que este ligado con modelos visuales, una pantalla, y de rápida ejecución.

Tabla 20*Criterios de selección para el software de desarrollo*

Criterio	Procesamiento	Programación	Compatibilidad	$\sum +1$	Pond.
Procesamiento	-	1	0.5	2.5	41.67%
Programación	0	-	0.5	1.5	25%
Compatibilidad	0.5	0.5	-	2	33.33%
			Total	6	100%

En la Tabla 21 se califica a las propuestas para el software de desarrollo de acuerdo a las características de la Tabla 19, teniendo como ganador a Unity por su capacidad de procesamiento, programación y compatibilidad con la tarjeta electrónica que se utilizará.

Tabla 21

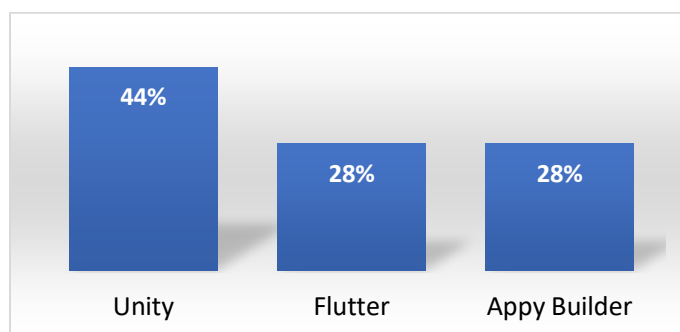
Calificaciones de alternativas para el software de desarrollo

	Procesamiento	Programación	Compatibilidad	Ponderación
Unity	3	3	2	8
Flutter	1	1	3	5
Appy Builder	2	2	1	5
Σ	6	6	6	

En la Figura 19 se presenta la alternativa ganadora para el desarrollo del aplicativo.

Figura 19

Resultados de la selección del software de desarrollo



Capítulo III

Diseño del robot educativo

Introducción

En este capítulo se desarrolla el diseño mecatrónico del robot móvil para el aprendizaje de niños y niñas de 9 a 12 años de edad. El diseño mecatrónico del robot móvil comprende en el diseño a detalle electrónico, diseño mecánico y el controlador del robot para los motores.

Dentro de las especificaciones de diseño del robot cuenta con la parte de diseño mecánico en la que se realiza la estructura principal del robot que se compone de la carcasa y protección de los diferentes sensores y actuadores, en el apartado de diseño electrónico se encuentra la placa PCB que es la que alberga a todos los componentes electrónicos y por la cual se puede generar la tracción del robot mediante el uso de los motores; de la mano de la parte electrónica se encuentra el módulo de programación, es decir toda la parte de software del robot que consiste en el firmware necesario para el control de los accionamientos y sensores del robot, el desarrollo de la aplicación móvil y la sincronización con la parte electrónica.

Para garantizar que el producto final cumpla con las características de modularidad en los componentes principales se recurre al Diseño para Fabricación y Ensamblaje (DFM/A), el propósito de esta metodología es que se diseñe productos que sean fáciles de manufacturar y de ensamblar.

Diseño mecánico del robot

Se da inicio al diseño de las piezas de la estructura física del robot, el robot consta de dos partes importantes para el diseño, que es la cabeza y el cuerpo cada una necesita un diseño específico en el que se debe priorizar la distribución del espacio para cada elemento electrónico o electromecánico, esto a su vez concluye en un diseño modular que es un diseño compacto y optimizado, teniendo en cuenta que sea fácil de manufacturar.

El cuerpo del robot cuenta de dos piezas principales, el chasis donde se ubicarán los motores, sensores, batería y módulos de carga; y la otra parte es la tapa del chasis en la que se aloja la placa electrónica y es la unión para la parte de la cabeza.

La cabeza del robot cuenta con la pantalla que mostrará las emociones del robot y cuenta de dos piezas principales, la parte frontal y la parte trasera, se elige esta manera de diseño para el correcto encaje de la pantalla y que sea fácilmente desmontable.

Además, el robot cuenta con accesorios modulares para que los niños puedan intercambiar rápidamente de acuerdo al caso que se requiera o a la preferencia. Estos accesorios son las orejas, las manos y un accesorio que identifica al robot para un niño o una niña.

Diseño del cuerpo del robot

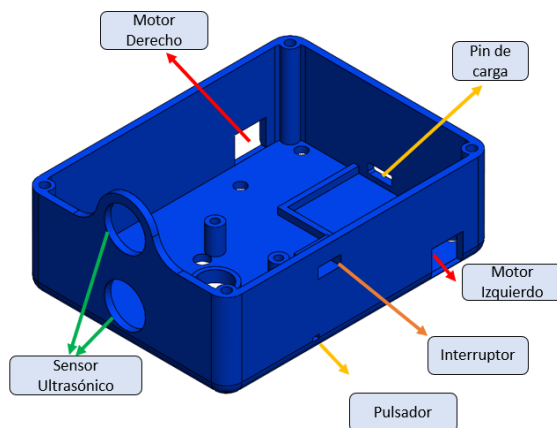
El cuerpo del robot se compone del chasis, tapa del chasis y abrazadera de motores. A continuación, se detallan cada una de las partes y distribución de componentes.

Diseño del chasis

Posterior a varias versiones de prototipos se presenta el diseño final de una de las partes del cuerpo del robot, teniendo en cuenta las consideraciones de (DFM/A) se considera las posiciones de los sensores, motores y demás espacios destinados a los componentes que se alojan en esta parte del robot como son: motores, sensor ultrasónico, sensor de color, batería, módulos de carga e interruptor de encendido, en la Figura 20 se expone el diseño final del chasis del robot y se indica las ranuras y el lugar donde se dispone colocar los elementos mencionados. Para un diseño robusto del robot se considera utilizar tornillos M3 para el ajuste de sus sensores y motores.

Figura 20

Vista isométrica del robot y su distribución

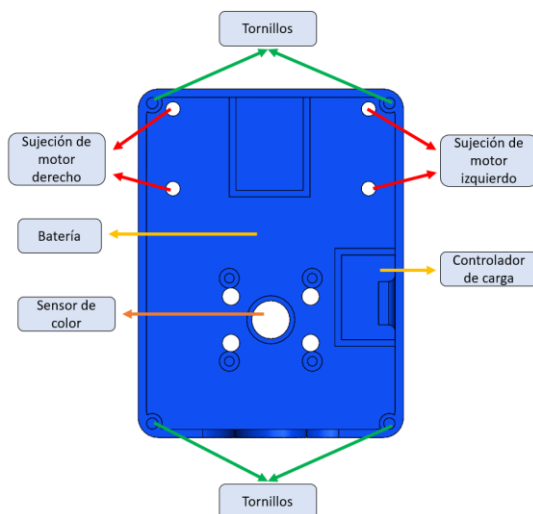


La Figura 20 muestra la vista isométrica del chasis del robot en el que se muestra la distribución de los principales componentes, los demás componentes que se incorporan en el chasis se muestran en la Figura 21

Vista superior del chasis y su distribución Figura 21.

Figura 21

Vista superior del chasis y su distribución

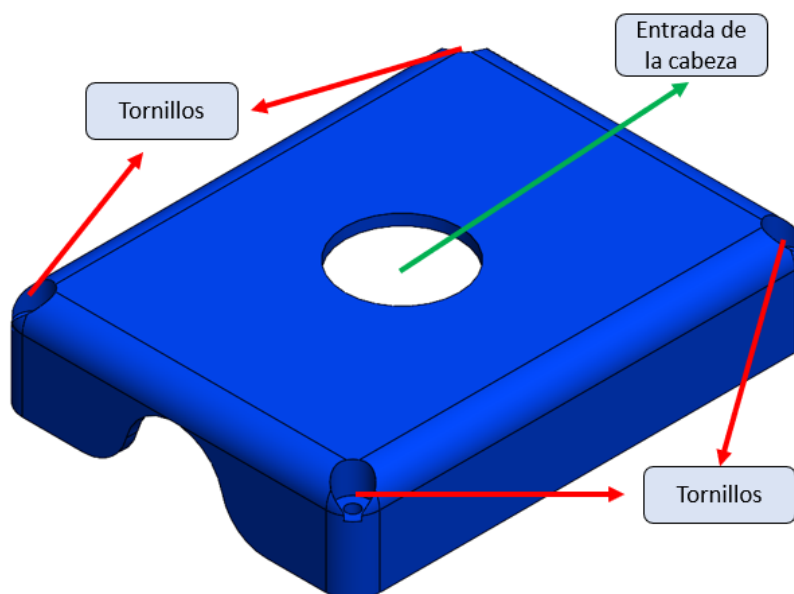


Diseño de la tapa del chasis

Para el diseño de la tapa del chasis se debe tomar en cuenta el diseño para cerrar el cuerpo del robot por completo, para ello se utilizan tornillos M3X30, también cabe recalcar que en la tapa se colocará la placa PCB del robot y la entrada de cables provenientes de la cabeza del robot, otra consideración importante es dejar un espacio entre la placa y la estructura para que no se sobrecaliente el procesador. Para asegurar la placa PCB a la tapa del robot se utilizan tornillos M3x10, en la Figura 22 se muestra la tapa del chasis y su distribución conforma a los requerimientos.

Figura 22

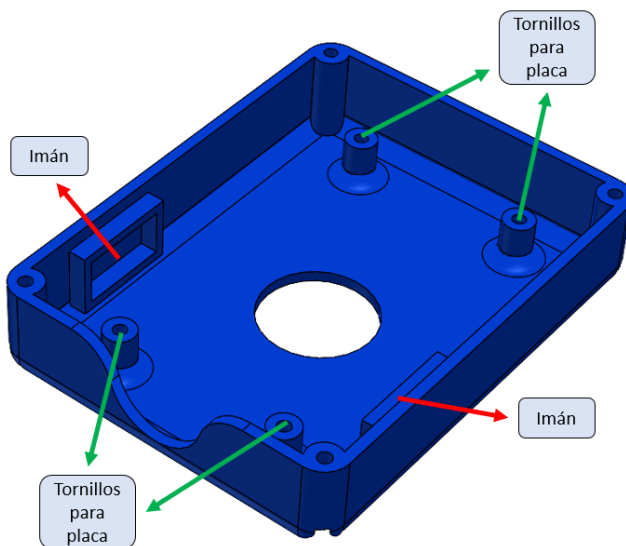
Vista isométrica - exterior de la tapa del chasis y su distribución



La Figura 23 presenta la vista interior de la tapa del chasis del robot y su distribución, en la que consta de un espacio para imanes de neodimio de 20x10x0,45 cm los mismos que ayudarán a la sujeción de los accesorios que se coloque en la parte exterior de la tapa del chasis.

Figura 23

Vista isométrica - interna de la tapa del chasis

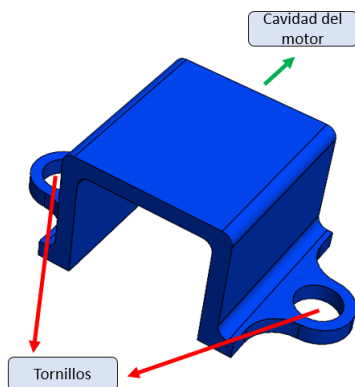


Diseño de la mordaza del motor

Para el diseño de la mordaza del motor se realiza un solo diseño y sirve para ambos motores debido a que el diseño del chasis y la distribución de espacio de los motores es simétrico, este diseño es adecuado para este tipo de chasis

Figura 24

Mordaza para el motor



Diseño de la cabeza del robot

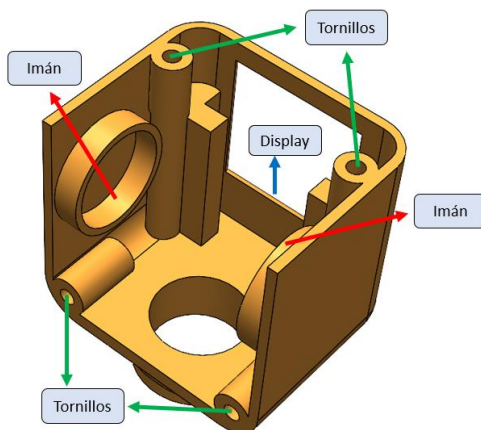
La cabeza del robot cuenta con dos partes, la frontal y la trasera. A continuación, se detalla cada una de las consideraciones para el diseño de las piezas que conforman esta parte del robot. Cabe recalcar que el ensamblaje de ambas partes es por medio de tornillos M3X20.

Diseño de la parte frontal de la cabeza del robot

Para iniciar el diseño de la parte frontal de la cabeza del robot se considera que se va a mostrar el display de una pantalla de 128x128 pixeles de resolución, es decir el espacio útil de la pantalla es de 2,8x2,8 cm y este espacio se debe considerar al momento de diseñar la parte frontal de la pantalla. Otra consideración es que dentro de la cabeza se deben incorporar imanes para ajustar los accesorios que se colocan en la cabeza, los imanes son redondos, con un diámetro de 2cm y un grosor de 0,45 cm. Debido a que la pantalla no posee una sujeción por tornillos se realiza una cavidad a la medida de la pantalla para que no se mueva y tampoco se dañe al momento de ensamblar. El diseño final de la parte frontal de la cabeza se presenta en la Figura 25.

Figura 25

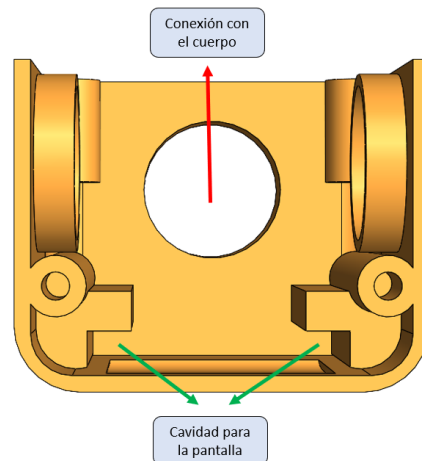
Vista isométrica interior de la parte frontal de la cabeza



La cavidad para la pantalla se puede observar en la Figura 26 y la conexión con el cuerpo del robot.

Figura 26

Vista superior de la parte frontal de la cabeza del robot

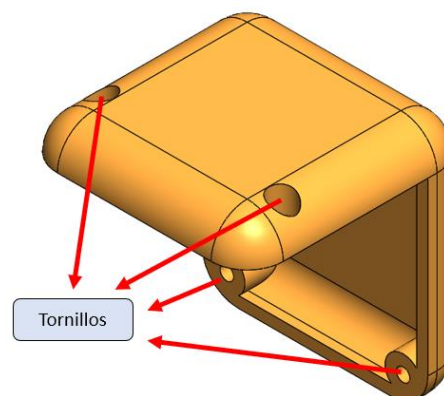


Diseño de la parte trasera de la cabeza del robot

Para el diseño de la parte trasera del robot no se tienen consideraciones debido a que es la tapa de la cabeza, para la sujeción se utilizan tornillos M3X1, la parte trasera de la cabeza se diseña en forma de L para una mejor sujeción de la carcasa. En la Figura 27 se presenta la parte trasera de la cabeza.

Figura 27

Vista isométrica de la parte trasera de la cabeza del robot



Selección del material para la Manufactura del robot

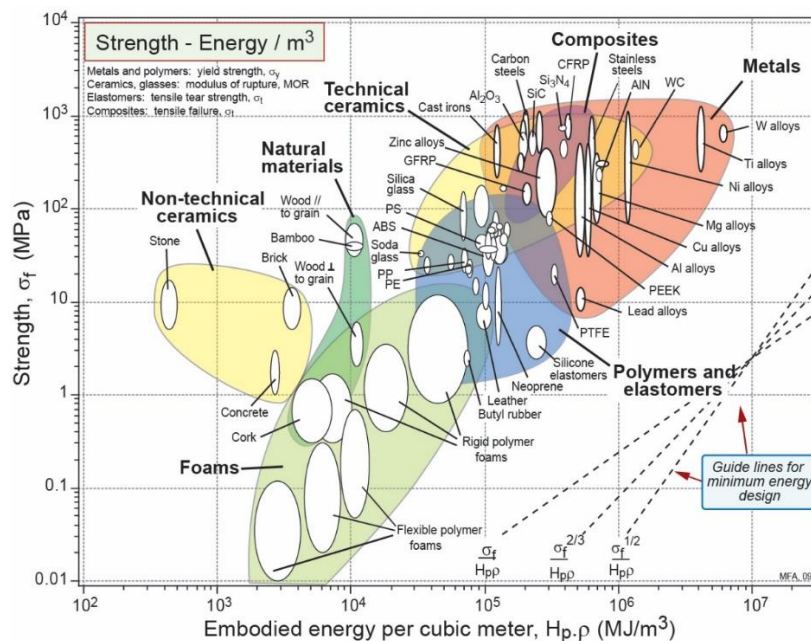
La opción más viable para la manufactura de este proyecto es la impresión 3D FDM, basado en los requerimientos de portabilidad se elige este método para que la estructura no sea muy pesada para el niño y a su vez exista una gama de colores que pueda elegir. En nuestro país existen comercialmente los siguientes: PLA, PLA+, ABS, PETG, TPU, NYLON y ASA. Para elegir el material adecuado para nuestro proyecto se acude al Diagrama de Ashby.

El diagrama de Ashby ofrece una comparación entre dos propiedades de materiales simultáneamente en un solo plano. Este diagrama puede abarcar una gran cantidad de materiales, para este propósito que se trabajará con niños utilizaremos polímeros debido a su dureza y a la vez flexibilidad.

En la Figura 28 se presenta el diagrama de Ashby, en base a los requerimientos planteados, se necesita que el prototipo sea portátil y a su vez tenga resistencia a la tracción, de esta manera se necesita una resistencia a la tracción alta y una baja densidad para que el proyecto cuente con un peso ligero y a su vez resistente. En base a estos criterios se elige el material PETG.

Figura 28

Diagrama de Ashby (Resistencia a la tracción vs Densidad)

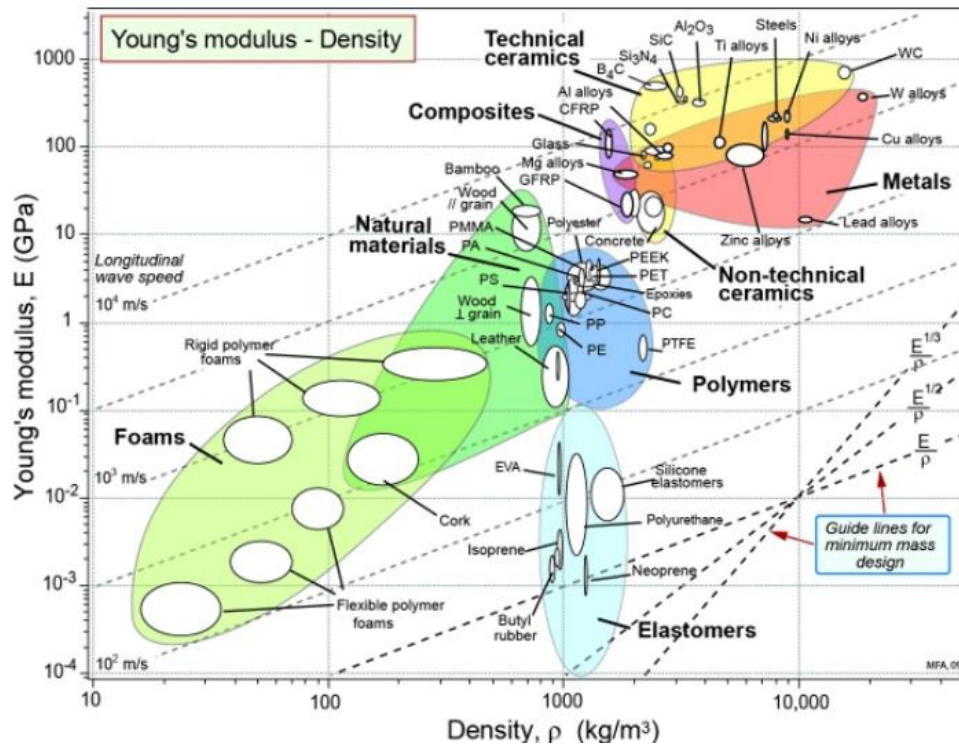


Nota. Tomado de (Silveira, 2019)

En la Figura 29 se exhibe la comparación entre el módulo de Young y la densidad del material. El material PETG presenta en cuanto a polímeros la opción más fiable para la fabricación del robot debido a su resistencia y asegura que el robot no se deformará si es propenso a una caída. Otra opción fiable es el ABS, pero al ser un producto que se utilizará con niños es peligroso e inflamable. En comparación al PLA, EL PETG ofrece una mejor resistencia a golpes y a temperaturas altas, de esta manera el PETG presenta propiedades duraderas y más flexible en cuanto a resistir golpes, por ende, el PETG es el material con el que se fabricará el robot.

Figura 29

Diagrama de Ashby (Módulo de Young vs Densidad)



Nota. Tomado de (Cerde, 2018)

El PETG es un polímero termoplástico ampliamente utilizado dentro de la industria de la impresión 3D debido a sus propiedades únicas, es una sinergia entre la impresión fácil del PLA y la resistencia del ABS, el PETG posee una alta tenacidad, es por eso que le permite absorber impactos.

Análisis estático de la estructura del robot

El robot se enfrenta a un entorno infantil en el que está sujeto a la manipulación de niños, de tal manera que existe la posibilidad que sea propenso a caídas, peso y otro tipo de actos que pongan al robot en situaciones complicadas de resistencia. Por ello, se realiza un análisis estático computacional del robot; con ello se corrobora la resistencia del material

elegido, se asegura que, si existe una caída de las manos del niño, el robot va a quedar con la misma funcionalidad en sus partes mecánicas.

Previo al análisis estático se considera la altura a la que el niño puede dejar caer el objeto, debido a que el rango de edad de los niños a quienes está dirigido el proyecto es muy amplio se elige a la población de mayor edad, en este caso los niños y niñas de 12 años de edad.

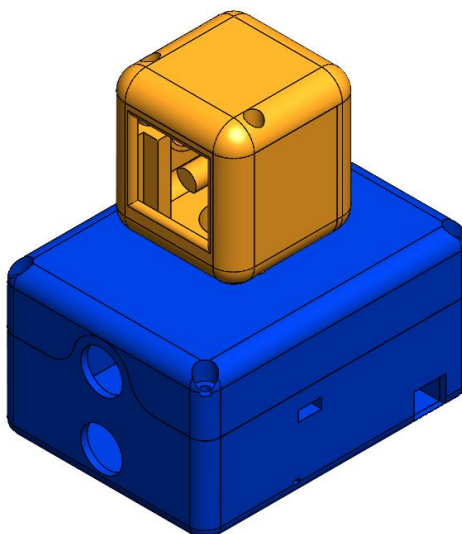
Tabla 22

Talla de niños y niñas a los 12 años en Ecuador

EDAD	TALLA EN NIÑOS (cm)	TALLA EN NIÑAS (cm)
12 años	142.5	145

Nota. Tomado de (Velasco Wiesner, 2020)

Una vez obtenido un aproximado de la talla de los niños y niñas, el robot puede caer de una distancia aproximada de 110 cm al suelo. Otro punto importante previo al análisis estático es el ensamblaje de la parte mecánica del robot, para esto se presenta el modelo mecánico final del robot.

Figura 30*Ensamblaje del cuerpo y la cabeza del robot*

Se necesita saber cuál es la fuerza con la que el robot se estrella contra el suelo y también el peso total del robot. Para determinar la fuerza de impacto del robot como dato se debe tener la energía cinética previo al impacto, el impacto se considera como la conversión de energía en trabajo, de esta manera utilizar ambas fórmulas para hallar la fuerza que se requiere. En la se muestra el peso por componente y el peso total del prototipo.

Tabla 23*Peso de cada componente y total del robot*

Componente	Cantidad	Peso (gr)	Peso total (gr)
Chasis	1	71.21	71.21
Tapa del chasis	1	53	53
Parte Frontal de la cabeza	1	33.87	33.87

Componente	Cantidad	Peso (gr)	Peso total (gr)
Parte Trasera de la cabeza	1	20.65	20.65
Mordaza	2	1.40	2.80
		TOTAL	181.53 gr

Nota. Para obtener los pesos de cada elemento se selecciona en el programa de diseño CAD la opción de propiedades físicas, previo a la determinación del material.

Las ecuaciones de trabajo y energía cinética para empezar el cálculo de la fuerza con la que el robot golpea el suelo.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad 1$$

$$W = Fd \quad 2$$

Al unir ambas ecuaciones:

$$\frac{1}{2}mv^2 = Fd$$

Para hallar la velocidad de caída se utiliza la siguiente fórmula:

$$v = \sqrt{2gh} \quad 3$$

Obtenidas estas ecuaciones, ya se puede calcular la fuerza de impacto, la ecuación 4 determina la fuerza de impacto con la que el robot golpea el suelo.

$$F = \frac{mgh}{d}$$

4

$$F = \frac{0.18153 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.20\text{m}}{0.006\text{m}}$$

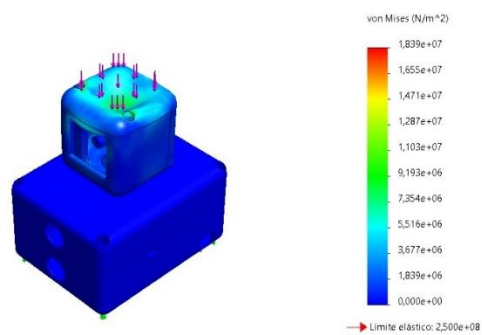
$$F = 210.165 \text{ Nm}$$

Esta fuerza se considera desde la parte superior del robot para simular una caída a una altura de 1.20m, en el software se establecen los parámetros de fuerza y las restricciones de diseño y se obtienen las tensiones de Von Mises presentada en la Figura 31.

Figura 31

Tensión de Von Mises en la estructura del robot

Nombre del modelo: PARA_ESTATIC
Nombre de estudio: Estudio Estático-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 2417,25



El valor del análisis de Von Mises debe ser de menor valor que el límite elástico del material. Como se observa en la Figura 31 el máximo valor del análisis de Von Mises es 1,84MPa que es un valor menor al valor del límite elástico del material que es 60MPa lo que verifica que el resultado es aceptable.

Diseño electrónico del robot

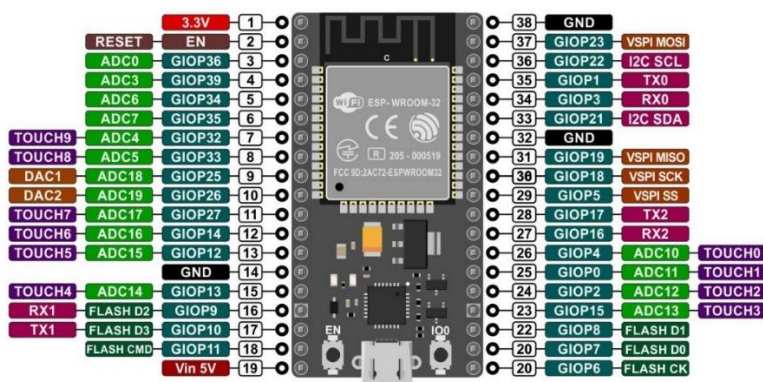
Para el diseño electrónico del robot se utiliza el software KiCad que es un software libre, además cuenta con muchas librerías que se utilizará en el proyecto y es ideal para la esquematización electrónica y el diseño electrónico PCB. Kicad ofrece un entorno amigable y muy intuitivo que a su vez cuenta con herramientas esenciales y avanzadas para el enrutamiento de pistas en la placa PCB y el diseño electrónico.

Después de determinar los componentes electrónicos que se utilizarán en la creación del robot móvil diferencial en conjunto con las especificaciones técnicas necesarias para cumplir con los requisitos establecidos, se lleva a cabo una recopilación de información sobre el microcontrolador elegido. Esto se hace para asignar correctamente los pines de entrada y salida de cada sensor y actuador previamente establecido, de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada uno de ellos.

El procesador seleccionado es la ESP WROOM 32 de 38 pines que se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Distribución de pines de la ESP32 WROOM de 38 pines



Nota. Adaptado de (Megatrónica, 2019)

En la Figura 32 se presenta de manera detallada el uso de cada pin, la ESP32 WROOM de 38 pines cuenta con 24 pines digitales (GPIO), posee dos conversores analógicos a digital de 12 bits que soporta mediciones de hasta 18 canales, voltaje de alimentación de 5V, salidas de 5V y 3.3V además de puertos I2C para una comunicación rápida entre componentes.

Asignación de pines del procesador

Para la asignación de pines del procesador se tiene en cuenta que para el control de los motores se necesitan señales de PWM, puertos de entrada y salida digital para los sensores ultrasónico y de color, pines digitales y de alimentación para la pantalla.

Actuadores

Micro motores N20-30 y TB6612FNG

Para el control de la velocidad en cada motor se necesitan emplear pines PWM o controladores de ancho de pulso. Para ello el micro motor se debe acompañar o recibir soporte de un driver, es decir de un controlador para el motor, en este caso se utiliza el driver TB6612FNG. Cabe recalcar que el control de los motores se los realiza mediante un encoder de efecto Hall para un preciso control en la velocidad del motor y dirección. De esta manera el motor con encoder dispone de 6 puertos de conexión, 2 de ellos se destinan a la alimentación del mismo, dos pines se conectan al driver para el control y dos pines que se conectan a salidas PWM provenientes del controlador.

En la Tabla 24 se presenta la asignación de pines de la ESP WROOM 32 de 38 pines, los motores y el driver TB6612FNG.

Tabla 24*Distribución de pines de la ESP32 para los motores y TB6612FNG*

Componente	KiCad	ESP32	Descripción	Señal
Motor Izquierdo	C1_R	GPIO39	Lectura del encoder	Digital
	C2_R	GPIO36	Lectura del encoder	Digital
Motor Derecho	C1_L	GPIO35	Lectura del encoder	Digital
	C2_L	GPIO34	Lectura del encoder	Digital
TB6612FNG	PWMA	GPIO33	Velocidad del motor A	PWM
	PWMB	GPIO13	Velocidad del motor B	PWM
	AI1	GPIO26	Sentido de rotación	Digital
	AI2	GPIO25	Sentido de rotación	Digital
	BI1	GPIO14	Sentido de rotación	Digital
	BI2	GPIO12	Sentido de rotación	Digital
	STBY	GPIO27	Sentido de rotación	Digital

El driver por su parte tiene más pines de conexión hacia los motores, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25*Asignación de pines restantes del TB6612FNG*

KiCad	TB6612FNG	Descripción
M1_L	A01	Salida al motor A

KiCad	TB6612FNG	Descripción
M2_L	A02	Salida al motor A
M2_R	B01	Salida al motor B
M3_R	B02	Salida al motor B

Pantalla TFT

Continuando con la asignación de pines del microcontrolador tenemos a la pantalla TFT de 128X128 píxeles la cual cuenta con conexión SPI, de la cual los pines de 5V y GND se conectan a positivo y negativo de la placa respectivamente, en este caso en particular cuenta con un pin LED, el mismo que se conecta a 3.3V para el encendido del background de la pantalla, de esta manera los pines de distribución del controlador hacia la pantalla se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26

Distribución de los pines para la ESP32 para la pantalla.

KiCad	ESP 32 WROOM	Pantalla	Señal
D0	GPIO18	SCK	Digital
D1	GPIO23	SDA	Digital
RES	GPIO17	RESET	Digital
DC	GPIO16	CS	Digital
LD	3.3V	LED	Digital

Sensores

Entre los componentes electrónicos del robot se encuentran los sensores, los mismos que necesitan una asignación de pines para conectarse a la ESP32 WROOM. El robot cuenta con un sensor ultrasónico para medir la distancia de objetos que tenga al frente, para adquirir la información de entrada procedente del sensor ultrasónico HC-SR04 se necesita de dos pines digitales específicos, un pin "Trigger" o disparador que se encarga de enviar una señal de activación al sensor para que emita los pulsos ultrasónicos y el otro que se utiliza para recibir la respuesta del sensor, el pin se denomina "Echo", el principio de funcionamiento de este sensor es medir el tiempo necesario que tarda la señal en reflejarse con algún objeto y regresar al sensor, parte del sensor también es la alimentación del mismo, que es 5V y GND.

Otro sensor que se utiliza en el robot es el sensor de color TCS3200, el mismo que permite detectar y distinguir diferentes colores en los objetos mediante la medición de la intensidad de luz que el objeto refleja. Utiliza una matriz de diodos para capturar la luz y un filtro de color para separar la luz en componentes rojo, verde y azul (RGB), el controlador lee las señales analógicas y las convierte en digitales para representar la intensidad de cada color. En la Tabla 27 se presenta un resumen de la conexión del sensor ultrasónico, el sensor de color con el controlador en este caso la ESP 32 WROOM.

Tabla 27

Distribución de pines de la ESP32 WROOM y los sensores

Componente	KiCad	ESP32 WROOM	Señal
Sensor de color TCS3200	S2	ADC 2	Analógica
	S3	GPIO4	Digital
	OUT	GPIO3	Digital

Componente	KiCad	ESP32 WROOM	Señal
Sensor ultrasónico HC - SR04	Echo	GPIO02	Digital
	Trig	GPIO15	Digital

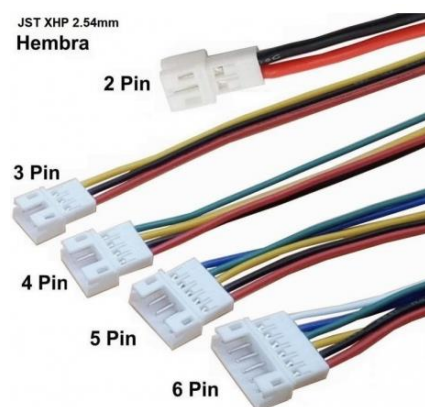
Conectores Modulares

De acuerdo con el requerimiento de modularidad, el robot necesita implementar conectores que aparte de contar con un sistema modular también cuenten con la metodología Poka – Yoke, es decir, a prueba de errores para que los niños eviten dañar el robot por una mala conexión. Los conectores que cumplen con estos requerimientos son los conectores JST, estos no permiten al usuario conectar de una manera distinta ya que cuentan con un seguro externo y un canal guía que permite al conector tener una sola forma de conexión.

Para este proyecto se utilizan conectores de 2,3,4,5 pines que se distribuyen de acuerdo a la necesidad de cada componente y su extremo de conexión. Los conectores JST se muestran en la Figura 33.

Figura 33

Conectores JST



Nota. Tomado de (Shoptronica, 2020).

De acuerdo a cada sensor y actuador se asignan los conectores JST como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

Disposición de conectores JST en los elementos

Componente	Cantidad	Tipo de conector
Sensor ultrasónico HC-SR04	1	JST de 4 pines
Sensor de color TCS 3200	2	JST de 5 pines
Pantalla	1	JST de 4 pines
	1	JST de 2 pines
Motores	1	JST DE 4 pines
	1	JST de 2 pines
Batería	1	JST de 2 pines

Carga y descarga del robot

Para satisfacer el requerimiento que la batería dure un tiempo prudencial de trabajo y también que sea recargable se utiliza un módulo de carga y descarga externo, cabe recalcar que la batería utilizada es de composición Litio-ion y posee una celda por lo que su voltaje nominal es de 3,7V este voltaje puede variar desde los 3V a 4,2V.

Para que el robot sea recargable y a su vez la batería no se dañe por la mala manipulación de los niños, se utiliza un módulo externo de carga y descarga del robot, el mismo que se conecta mediante un pin de carga, que de acuerdo al módulo puede ser tipo C o tipo B como se muestra en la Figura 34.

Figura 34

Módulo de carga para batería



Nota. Tomado de (TP4056 Tipo C Módulo de carga para batería Lipo 1A – Novatronic, n.d.)

Este módulo de carga conserva la vida útil de la batería y suministra 5V hacia la placa para que no exista picos de voltaje en alto y bajo y pueda afectar el funcionamiento del robot.

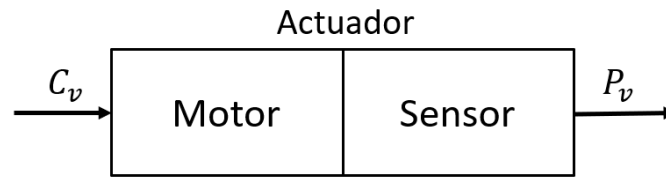
Diseño del controlador de motores

El robot está equipado con dos ruedas de tracción independiente, es por ello que se trata de un robot móvil diferencial, se propone desarrollar un controlador para los motores de modo que alcancen una velocidad angular necesaria para cumplir con las acciones que el robot las requiera, se considera la implementación de un controlador PID.

Para iniciar con el proceso de diseño de este controlador se debe obtener la respuesta en lazo abierto de los motores. Esto implica determinar la respuesta dinámica de los motores utilizados, debido a que los motores son los mismos en ambas ruedas, se examinará únicamente la respuesta dinámica de un motor. El diagrama de control en lazo abierto se describe en la Figura 35.

Figura 35

Diagrama de control en lazo abierto para el motor



A la entrada del diagrama de control en lazo abierto se tiene como actuador la variable C_v , la entrada del diagrama representa el valor en PWM que recibe el motor para su funcionamiento, de esta manera se obtiene una velocidad angular que se calcula por medio del encoder que es el sensor que tiene el motor, la salida P_v es el valor de la medición obtenida del encoder.

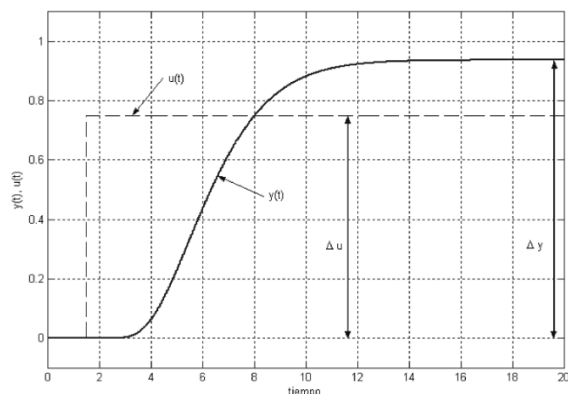
Para obtener el modelo matemático del motor se utiliza la identificación de modelos de orden reducido (Alfaro, 2006). La ecuación 5 expresa el modelo matemático.

$$G(s) = \frac{K e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad 5$$

Se debe encontrar los parámetros: K , L y τ . Estos parámetros se encontrarán utilizando el método propuesto. Para obtener la curva del motor se debe incitar al motor con una entrada escalón para medir la velocidad con el encoder. La Figura 36 muestra la curva de reacción del motor.

Figura 36

Curva de reacción de un proceso ante una entrada escalón

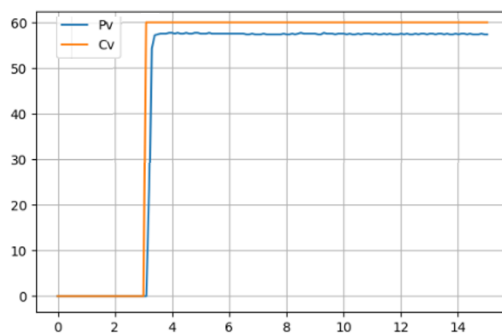


Nota. Obtenido de (Alfaro, 2006)

Se miden los valores de entrada y salida del proceso, considerando los valores máximos de los motores que son 6 rad/s en su velocidad, se realiza con el fin de obtener datos precisos de la curva del motor. Al aplicar una entrada escalón del 60%, se obtiene como resultado la curva de reacción que se muestra en la Figura 37.

Figura 37

Curva de reacción del motor ante una entrada escalón



Para la identificación de parámetros se hace uso de un algoritmo de optimización cuyos parámetros se observan en la Tabla 29.

Tabla 29

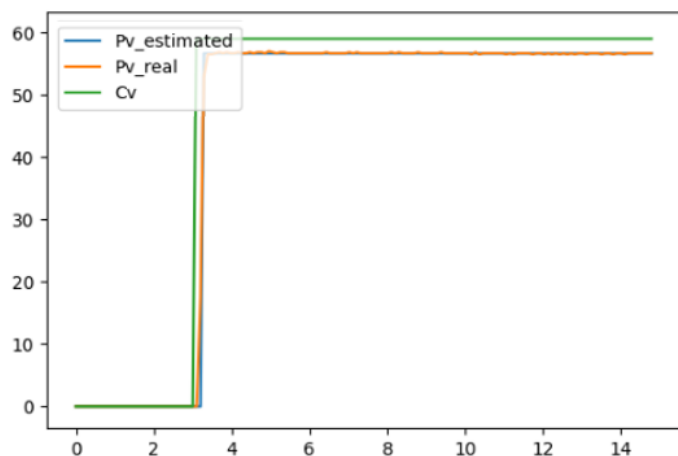
Parámetros obtenidos para el modelo matemático de los motores

Parámetro	Valor
L	0.0421
K	0.9551
τ	0.0895

En base a los parámetros obtenidos en la Tabla 29 se presenta la comparación entre la curva obtenida del modelo y la curva de reacción del motor. Como se observa en la Figura 38 las dos curvas están sobrepuestas dando como resultado que los parámetros encontrados son correctos y que el modelo dinámico del motor es correcto.

Figura 38

Comparación del modelo matemático con la curva de reacción del motor

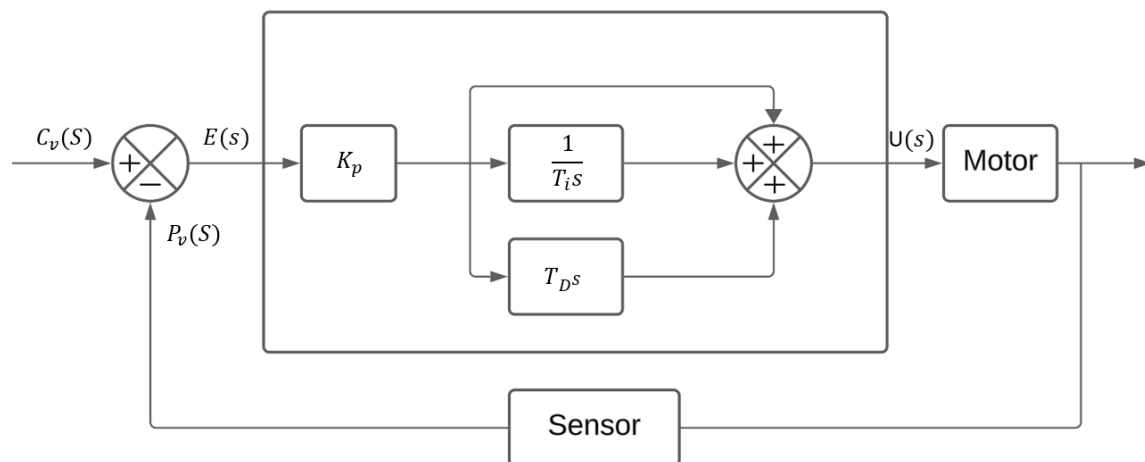


Ya con el modelo matemático del motor y los valores de las constantes, se procede al diseño del controlador PID. El esquema del controlador para los motores se muestra en la

Figura 39. Para este proyecto se utiliza el valor de C_v como un Set Point representando la velocidad angular deseada en rad/s, a diferencia del control en lazo cerrado donde este valor era la diferencia entre el valor deseado y el valor medido. El error se corrige en el controlador PID, y resultando en la acción de control que posteriormente se convierte en un valor PWM y se dirige directamente a la entrada del motor. El valor de P_v es la lectura del encoder de la velocidad angular del motor. Este valor se retroalimenta para ser comparado con el Set Point y así cerrar el lazo de control.

Figura 39

Esquema de control PID para motores



Para establecer las constantes del controlador PID, se emplea el método de sintonización Lambda en lazo abierto. Este método utiliza los parámetros obtenidos previamente del modelo matemático del robot, los cuales describen su comportamiento dinámico. Las fórmulas utilizadas para determinar las constantes del controlador PID se detallan en la Tabla 30. Cabe recalcar que λ es igual a 3 veces τ .

Tabla 30

Formulas para la sintonización Lambda en lazo abierto

Constantes PID	Fórmula	Resultado
K _p	$K_p = \frac{\tau}{K \left(\frac{L}{2} + \lambda \right)}$	0.3236
T _i	$T_i = \tau$	0.0895
T _d	$T_d = \frac{L}{2}$	0.021

Estas constantes se agregan a la función de control en el software para implementar al robot y que no se desvíe frente a una perturbación.

Desarrollo de Software

En el presente capítulo se desarrolla la programación del robot, que consta del firmware para el control de actuadores y sensores, la programación del controlador PID y la aplicación.

Firmware del robot

Motores N20

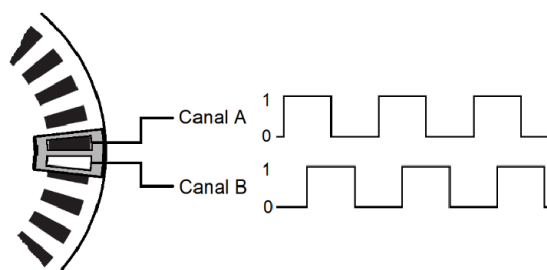
Para desarrollar el control que permite los movimientos básicos del robot se debe programar las funciones teniendo en cuenta los pines asignados en el diseño electrónico. Además, se necesita realizar el código para la medición de la velocidad utilizando los encoders. A continuación, se describen las consideraciones que deben tenerse en cuenta para la programación de los motores.

Medición de velocidad angular

El encoder que se dispone en el motor N20-30 consta de sensores de efecto Hall que producen pulsos con un desfase entre los dos canales. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede apreciar el canal A y B generando los pulsos en el encoder.

Figura 40

Canal A y B del encoder con sus pulsos



Nota. Tomado de (Suarez-Gomez & Perez-Holguin, 2020)

En la Tabla 31 se detallan las especificaciones para el Micro Motor N20-30 de 30 RPM a 6V. La resolución del sensor se determina mediante la ecuación 6.

Tabla 31

Características del motor N20-30 de 30 RPM

Especificaciones	Valor
Tensión nominal	6 V
Relación	488:1
Tipo de encoder	Cuadrado
PPR	7

Nota. Tomado de (Micromotor GA12-N20 con encoder de efecto hall 6V 30RPM 488, n.d.)

$$R = mH * s * r$$

6

$$R = 7 * 4 * 488$$

$$R = 13664$$

La ecuación 7 presenta la implementación del cálculo de la velocidad angular.

$$\omega = \frac{2\pi * n}{t * R}$$

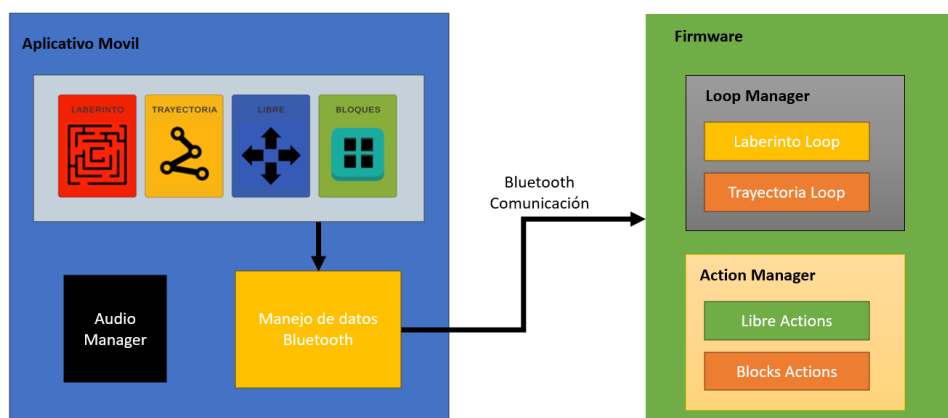
7

Diseño de juegos

En la Figura 41 se presenta un diagrama resumido del sistema de diseño de juegos, en el que todas las ventanas del aplicativo móvil como laberinto, trayectoria, libre y bloques se conectan con el envío y procesamiento de datos del bluetooth, a su vez hace la comunicación con el firmware del robot, en el firmware del robot se subdivide en dos acciones de acuerdo a los juegos, el loop manager que abarca a los juegos de laberinto y trayectoria y el action manager que se compone de las acciones libres y la programación de bloques.

Figura 41

Diagrama de diseño de juegos



Capítulo IV

Implementación

Continuando con la norma VDI 2206 una vez completado el diseño a detalle de los subsistemas del robot se procede con la implementación de los elementos de cada sistema para realizar la integración general y verificar los resultados finales en base a los requerimientos propuestos

Fabricación de la placa PCB

El diseño de la placa de circuito impreso (PCB) se lleva a cabo utilizando KiCad, ya que proporciona una herramienta eficaz para el enrutamiento del diagrama electrónico previamente creado. Para el diseño PCB se tiene en cuenta la norma IPC 6012e que es ampliamente utilizada en la industria electrónica para garantizar la consistencia y la calidad de las PCB durante todo el proceso de fabricación.

De acuerdo con la norma IPC6012e, la placa electrónica del robot se encuentra en una categoría de clase 1, que se refiere a los productos electrónicos generales, que cuentan con una vida útil considerable y funciones simples, de uso diario. Las recomendaciones que se deben tomar en cuenta para el diseño son:

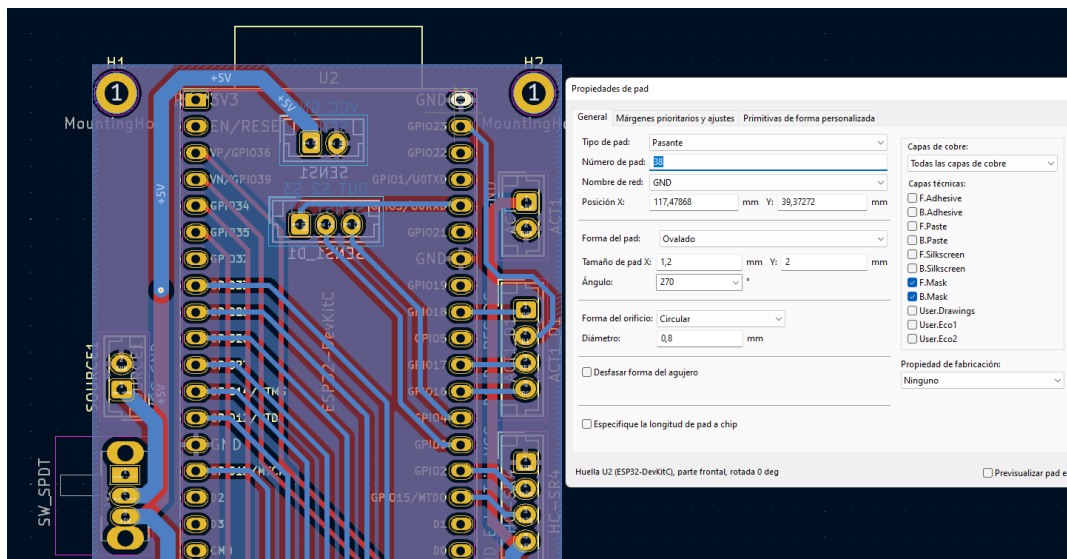
- Soldabilidad eficiente, la placa PCB debe tener el espacio y el ancho de agujero adecuado para una buena soldabilidad.
- Inspección visual, el control de calidad de la placa se realiza en primera instancia por control visual.
- El ancho de pista debe ser superior a 0.007 pulgadas
- Los agujeros no deben exceder el 1mm

- Limpieza en la placa, es indispensable para el mantenimiento de los componentes y las pistas
- Integridad Estructural, los elementos deben estar correctamente posicionados para evitar el alargamiento de pistas.
- Todos los núcleos laminados, cumpliendo con la soldabilidad se realizan los agujeros metalizados para una rápida adherencia del estaño.

En la Figura 42 se muestra en el diseño el tamaño de los agujeros que cumplen con la normativa, con un diámetro de 0,8mm para los agujeros de los componentes de acuerdo a la norma IPC 6012e.

Figura 42

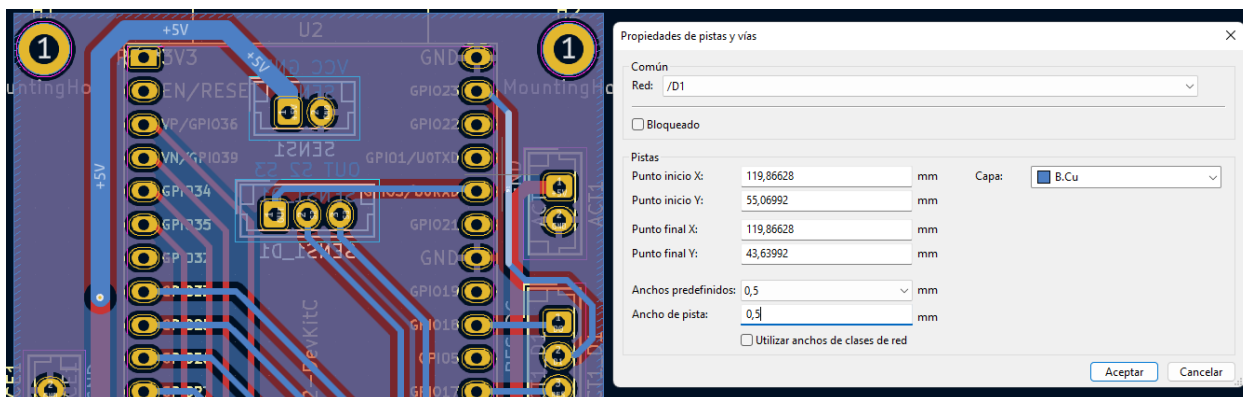
Verificación del diámetro de orificio para los componentes



También, tomando en cuenta el ancho de pista recomendado por la normativa IPC 6012e dice que sea superior a 0.1778mm, se elige un ancho de pista mínimo de 0.5 mm como se muestra en la Figura 43.

Figura 43

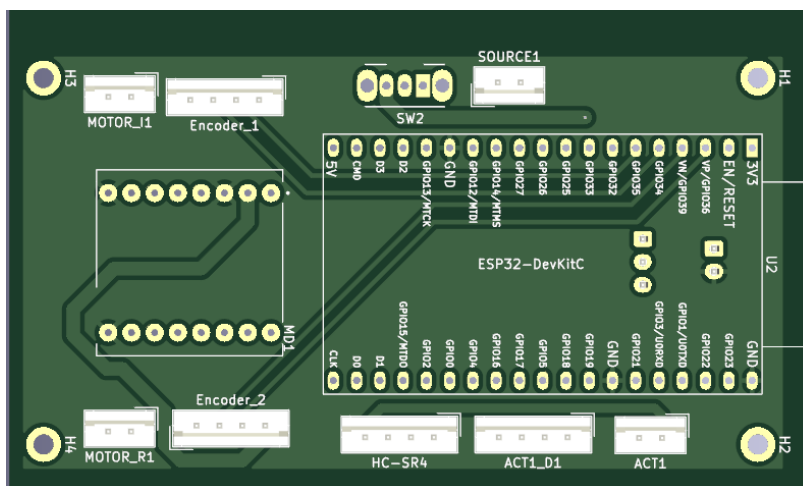
Verificación del ancho de pista de la placa PCB



En la Figura 44 se presenta el resultado final de la placa en KiCad de acuerdo a la normativa seleccionada y optimizando la disposición de elementos para obtener un diseño portátil en el robot, para ello el enrutamiento en la placa PCB se lo realizó a doble cara y con los agujeros metalizados.

Figura 44

Diseño final de la placa electrónica PCB



Concluido el diseño de la placa PCB, se realiza el pedido de manufactura a una empresa extranjera muy reconocida y que trabaja bajo normativas, de esta manera la placa PCB tendrá

un mejor acabado estético y dentro de las normativas vigentes. El color de la placa PCB es de acuerdo a criterio de cada cliente, en este caso se eligió el color azul. La placa final se muestra en la Figura 45.

Figura 45

Placa electrónica PCB manufacturado por JLCPCB



Fabricación de la estructura mecánica

Una vez que se realizó el análisis en las piezas mecánicas se procede a la fabricación, para ello se recurre a la impresión 3D en el material PETG como ya estaba estipulado.

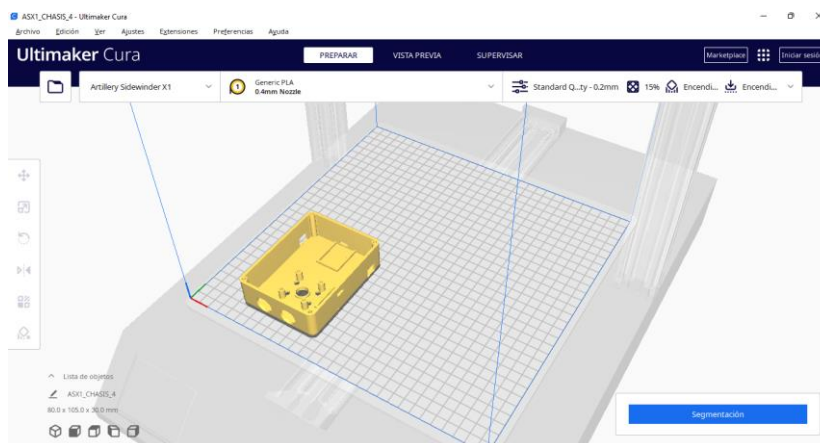
El software laminador de capa para este proyecto es Ultimaker CURA, es un software libre que cuenta con una gran variedad de perfiles de muchas impresoras 3D ya pre cargados para una impresión 3D eficiente, cabe recalcar que además cuenta con una gran cantidad de parámetros editables para elegir de acuerdo a las especificaciones de cada elemento.

Procedimiento

- Los archivos CAD generados en el software se deben guardar en la extensión (.stl)
- En el software Cura se configura la impresora y se recarga la pieza a imprimir.

Figura 46

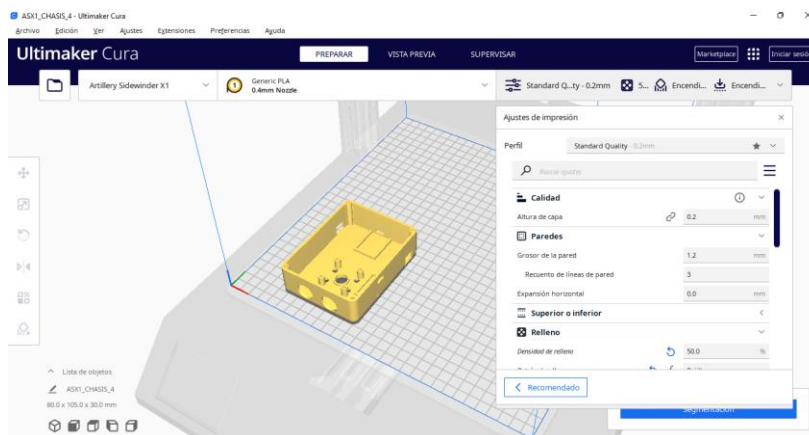
Pieza cargada en el laminador Cura



- Una vez cargada la pieza se procede a editar los parámetros para una buena impresión, para ello en base a la experiencia se eligen 3 capas de perímetro, un relleno del 50% y la orientación de la impresión se realiza de tal manera que la parte plana esté en conjunto con la base calefactable de la impresora 3D, como se muestra en la Figura 46.
- Los parámetros elegidos quedan como en la Figura 47.

Figura 47

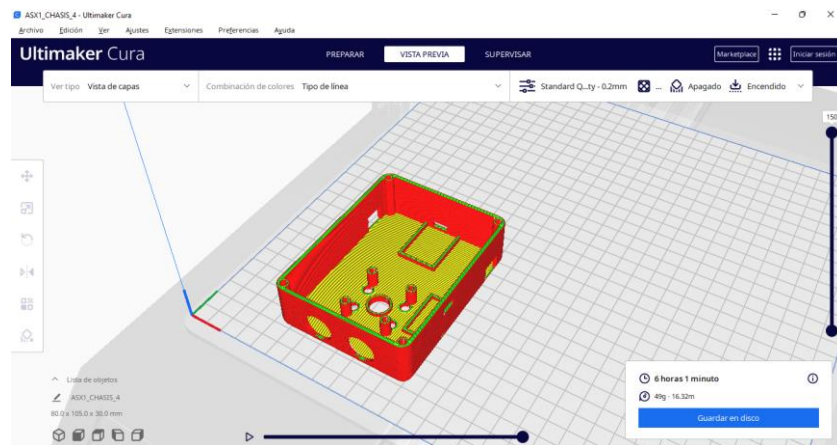
Parámetros elegidos para la impresión 3D



- Una vez colocados los parámetros se realiza la segmentación, y se verifica que no exista ninguna alteración en el modelo, la segmentación se observa en la Figura 48.

Figura 48

Segmentación de la pieza en capas para la impresión 3D



El archivo GCODE generado se guarda en una memoria flash para proceder a la impresión 3D.

- El siguiente paso es precalentar la impresora de acuerdo al filamento que se va a utilizar. El material que se utiliza es PETG, los valores recomendables que vienen demarcados en el filamento son en el extrusor 230 grados Celsius y 70 grados Celsius en la plataforma calefactable. Como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

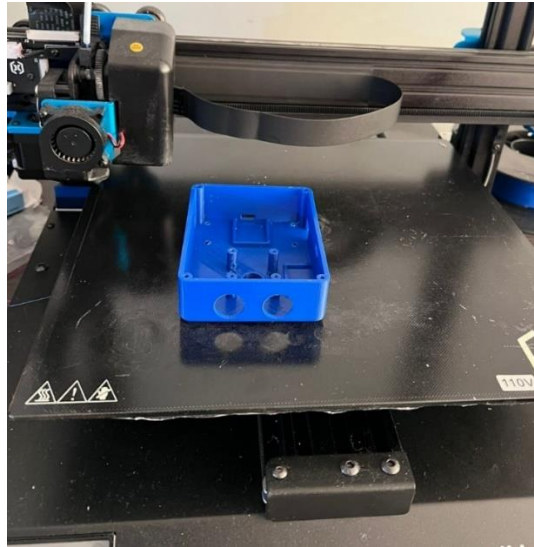
Precalentamiento de la impresora 3D



En la se puede observar el resultado de la impresión 3D de la parte del chasis del robot, de la misma manera se ejecuta para las demás piezas.

Figura 50

Resultado de la impresión 3D



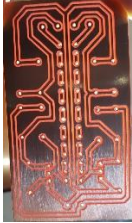

Ensamblaje del robot

Para el ensamblaje del robot se necesita tener las piezas impresas en 3D de todos los componentes del robot de tal manera que se pueda verificar el correcto funcionamiento y ensamblaje del mismo, durante la trayectoria de desarrollo de este proyecto se realizaron muchas pruebas desde un prototipo inicial hasta el final.

Placa de control

De las placas PCB de control únicamente se han realizado dos cambios durante esta trayectoria, cambios en la manufactura, en la Tabla 32 se detalla el proceso.


Tabla 32*Versiones fabricadas de la placa de control*

Versión	Detalle	Imagen
Versión 1 de la placa de control	<ul style="list-style-type: none"> Placa que no cumplía con los estándares IPC y que su manufactura era la tradicional CNC. 	
Versión 2 de la placa de control	<ul style="list-style-type: none"> Placa de manufactura aceptable para el proyecto Cumple con las normativas establecidas 	

Estructura del robot

Para la estructura del robot se realizaron una serie de diseños en los cuales siempre se hacían cambios significativos, entre ellos dimensiones, ajuste de sensores, edición del largo de los tornillos, acoples para que entre exacto la pantalla, etc. En la se detallan estos cambios

Tabla 33*Versiones de las estructuras mecánicas*

Versión	Detalle	Imagen
Versión 1 del chasis	<p>La primera versión contaba con los soportes de motores en la parte inferior del prototipo sin ningún tipo de ajuste</p>	

Versión	Detalle	Imagen
Versión 2 del chasis	En la segunda versión del chasis se incorporan los motores dentro del robot, se adecua de mejor manera el sensor de color y se hace un poco más compacto	
Versión 1 de la tapa del chasis	La tapa del chasis ha tenido únicamente dos cambios significativos desde su creación	
Versión 2 de la tapa del chasis	En esta versión se realiza más grande el orificio por donde ingresan los cables y se agregan imanes para los accesorios	
Versión 3 del chasis y su tapa	En esta última versión el chasis y su tapa cuentan con todos los elementos ensamblados y brinda un correcto funcionamiento	
Versión 1 de la cabeza del robot	La cabeza del robot no ha tenido cambios, el diseño a precisión para su componente no necesitaba edición	

Ensamblaje final

Una vez que los modelos finales han sido impresos y la placa final se ha verificado todos sus elementos se procede a ensamblar el robot, primero a soldar los componentes a la placa como se muestra en la Figura 51.

Figura 51

Componentes soldados en la placa PCB



Nota. Se colocan espadines hembra para la conexión de los elementos de tal manera que permita el ensamblaje rápido de los componentes.

En la Figura 52 se presenta el modelo final del robot ya ensamblado.

Figura 52

Ensamblaje final del robot



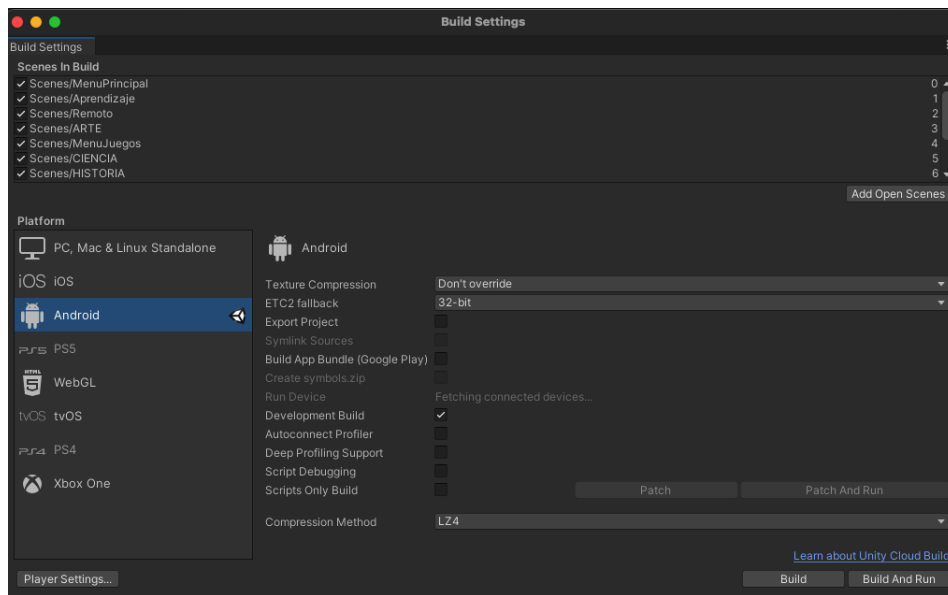
Compilación de la aplicación móvil

Procedimiento

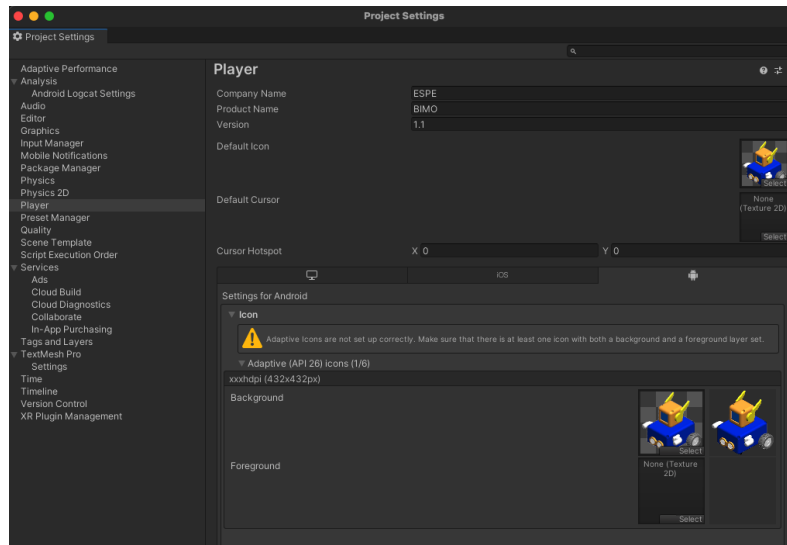
Para la compilación de la aplicación en la ventana de configuración de bloques se debe escoger la plataforma en la que se quiere compilar.

Figura 53

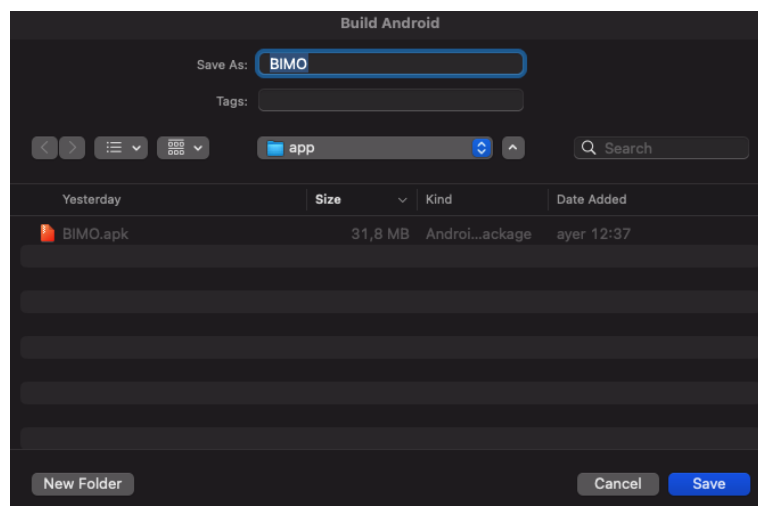
Ventana Build Settings



Para la configuración de la compilación de la aplicación se dirige a la pestaña de Player Settings accediendo desde las preferencias del proyecto, en esta ventana se puede configurar todas las características de la aplicación, entre las que se encuentran, la orientación, el ícono que se mostrará en el móvil y detalles del nombre, versión y quien lo produce.

Figura 54*Ventana Player Settings*

Para compilar la aplicación, en la ventana de build settings existe la opción de compilar, al presionar el botón se muestra una ventana como en la Figura 55. Una vez que se guarde la aplicación se descarga en un formato (.apk) que es compatible con dispositivos Android.

Figura 55*Compilación de la aplicación*

Para probar la aplicación basta con enviar el archivo (.apk) descargado en la computadora y enviar al móvil e instalarlo, en algunos dispositivos se encuentra habilitado la opción de no instalar aplicaciones provenientes de desconocidos, para esta ocasión se debe deshabilitar esa opción, una vez instalado en el móvil se ve como en la Figura 56.

Figura 56

Pantalla principal de la aplicación



Previo a iniciar con los juegos y demás actividades se realiza la calibración del sensor de color, para ello en la parte inferior derecha de la ventana principal se encuentra un botón negro el cual al presionarlo se presenta la ventana como en la Figura 57. Para la calibración de cada color se coloca un cuadrado del color a censar bajo el robot, después se presiona el botón rectangular "Testear color", una vez detectado el color se va a cambiar la tonalidad del botón, para finalizar se selecciona un círculo de la paleta de colores de acuerdo al color censado.

Figura 57

Ventana de calibración del sensor de color



A continuación, se presentan las ventanas de la aplicación en el apartado de juegos, aprendizaje e información.

Juegos

Laberinto

El juego de laberinto funciona de tal manera que el robot evite obstáculos que se encuentre en su camino, para empezar con el juego se debe medir la distancia haciendo click en el botón medir, después en la parte inferior se encuentran unas flechas de izquierda o derecha, aquellas flechas sirven de tal forma que cuando el robot detecte un obstáculo se dirija a la izquierda o a la derecha, de acuerdo a lo que el niño lo requiera. En la Figura 1Figura 58 se presenta la ventana de juego "Laberinto"

Figura 58

Ventana del juego Laberinto

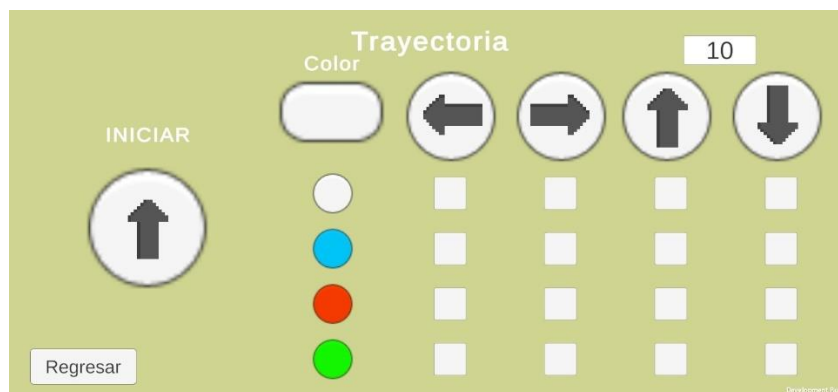


Trayectoria

Para el juego de Trayectoria se hace uso del sensor de color, el juego consiste en que el niño debe elegir en la aplicación la dirección del robot en base a los colores, es decir, se puede asignar la dirección de adelante al color azul, la dirección de retroceso al color rojo, la dirección a la derecha al color verde o la dirección de la derecha al color blanco. Estas direcciones son totalmente reprogramables según el niño lo requiera, además en la parte superior derecha de la ventana se indica un número, ese número es la distancia que se moverá el robot en centímetros.

Figura 59

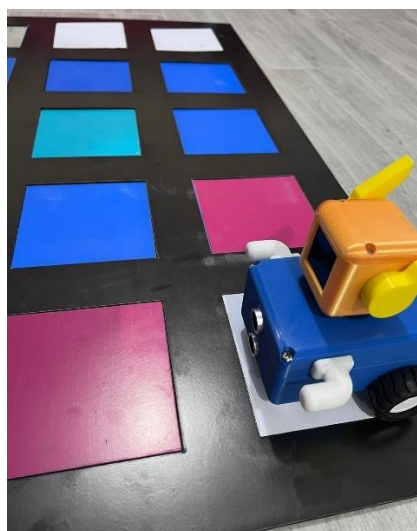
Ventana del juego Trayectoria



Este juego se acompaña de un tablero y unas cartas de colores, el niño puede colocar las cartas de colores sobre el tablero formando un circuito, con las direcciones establecidas en la aplicación se da inicio al juego y el robot seguirá la trayectoria del circuito en base a lo que el niño asigne en la aplicación y en el tablero, en la Figura 60 se muestra cómo se colocan los cuadrados en el tablero.

Figura 60

Robot con el tablero y los cuadrados establecidos en el juego Trayectoria

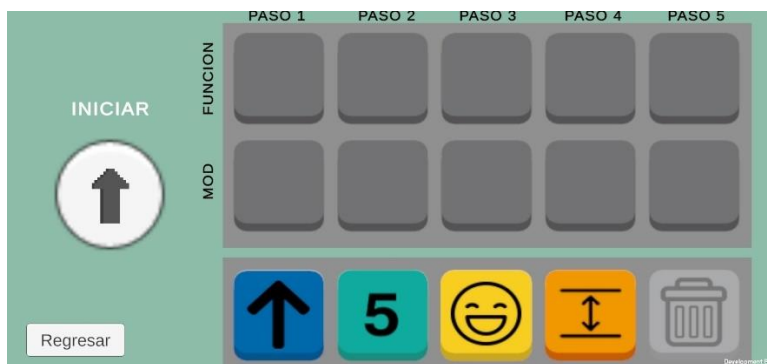


Bloques

Para el juego de bloques se dispone en la ventana de dos partes principales, la primera se encuentra en la parte superior, consta de una matriz de bloques de color gris en los cuales se colocan las acciones que se requiera para que el robot las ejecute, el robot ejecutará la acción de izquierda a derecha, en la fila denominada "Función" se colocan las acciones del robot, por ejemplo: movimiento hacia adelante, atrás, izquierda, derecha, gestos como: alegre, triste, asustado, sorprendido, enojado; y también lectura de sensores como el sensor de distancia y el sensor de color: blanco, rojo, azul y verde. En la segunda fila, denominada "MOD" se colocan los valores en cantidades incrementales de 5. Por ejemplo, se coloca la flecha hacia adelante en la fila de funciones y en la fila MOD se coloca el valor de 5, el robot va a ejecutar la dirección hacia adelante por 5cm, para el caso de las emociones o gestos no es necesario colocar un valor en la fila de MOD y para la función de lectura de distancia se debe colocar en la fila de MOD el valor que se requiere para que el robot detecte un obstáculo, en la Figura 61 se muestra la ventana de bloques

Figura 61

Ventana del juego Bloques

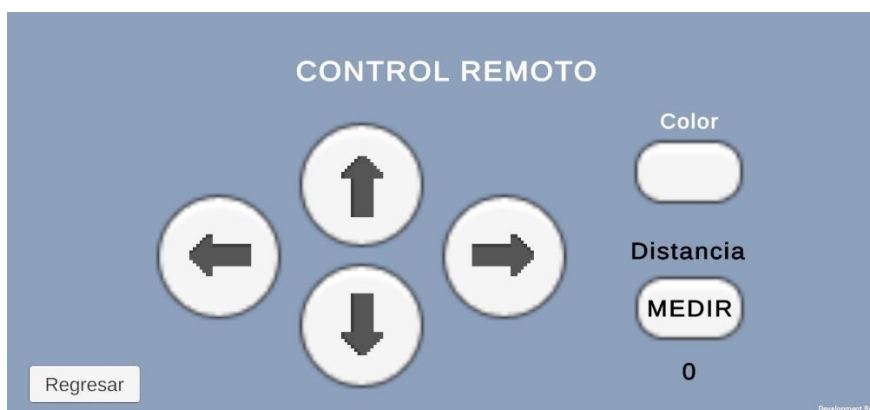


Control Remoto

Para el juego de control remoto es un juego libre para el niño, es decir se puede mover en la dirección que el niño lo requiera, además en este juego permite detectar colores y medir distancias.

Figura 62

Ventana del juego Control Remoto



Aprendizaje

En este apartado se encuentran los módulos de aprendizaje, todos los módulos de aprendizaje están enfocados en niños de la edad de 9 a 12 años, es decir las preguntas que se formulan dentro de estos módulos son acorde a lo que los niños ya tienen un conocimiento previo, dentro de cada módulo se encuentra un banco de preguntas, estas preguntas son de verdadero y falso con el objetivo de que el niño no se aburra, cada pregunta está diseñada con poco texto para no cansar al niño; una vez que la pregunta sea respondida se imprime con una "X" si la pregunta está mal contestada, y en el robot una carita triste; por el contrario si la pregunta está correctamente resuelta el robot tiene un gesto de alegría y en la aplicación se imprime un visto. Cada banco de preguntas consta de 10 items al concluir el banco de preguntas se realiza una calificación sobre 10. Las preguntas en los módulos de arte, historia y ciencia están enfocadas en el entorno ecuatoriano primordialmente. En la Figura 63 se muestra la ventana de aprendizaje.

Figura 63

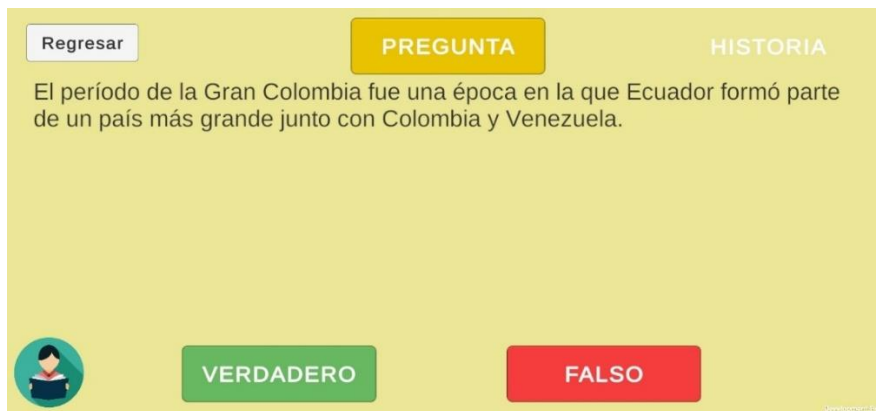
Ventana de Aprendizaje



En la Figura 64 se muestra la asignación de la pregunta

Figura 64

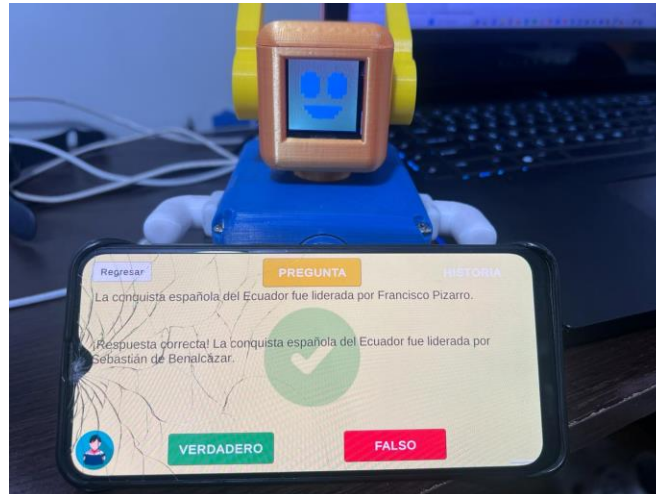
Ventana de pregunta



En la Figura 65 se presenta como se imprime el visto en la aplicación cuando se responde de manera correcta la pregunta y la carita feliz en el robot

Figura 65

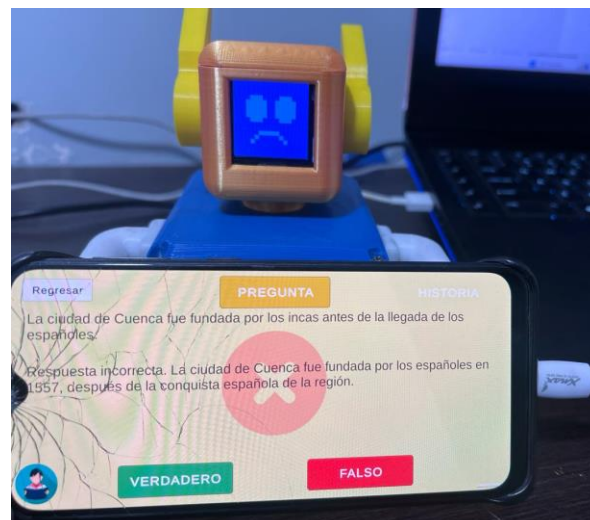
Pregunta respondida correctamente con la emoción del robot



En la Figura 66 se presenta como se imprime la "X" en la aplicación cuando se responde de manera incorrecta la pregunta y la carita triste en el robot.

Figura 66

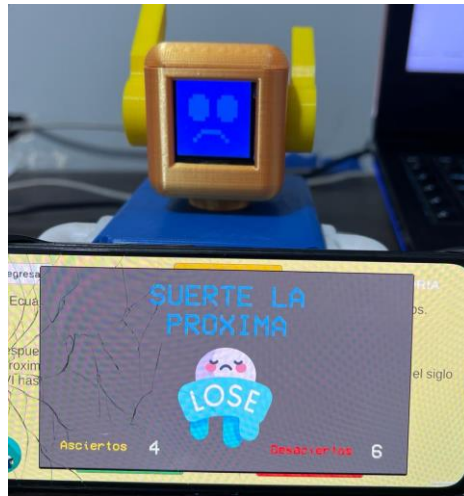
Pregunta respondida incorrectamente con la emoción del robot



Al final de cada cuestionario se presenta la ponderación obtenida, en la Figura 67 se presenta cuando el cuestionario tiene una ponderación menor a 7

Figura 67

Ponderación insatisfactoria para el cuestionario con la emoción del robot



En la Figura 68 se presenta cuando el cuestionario tiene una calificación satisfactoria o superior a 7.

Figura 68

Ponderación satisfactoria junto a la emoción del robot



Análisis Técnico – económico

En este apartado se presenta un análisis de los costos detallados de cada elemento que se utilizó para la fabricación del robot, entre ellos se encuentran elementos electrónicos, mecánicos, costos de manufactura de elementos mecánicos y electrónicos, etc. Para realizar un análisis detallado se divide en dos secciones, sección electrónica y sección mecánica. Cabe recalcar que los elementos electrónicos fueron importados y que la manufactura de la placa PCB se realizó fuera del país por lo que su costo es reducido.

Elementos electrónicos

En la Tabla 34 se muestran los componentes, cantidad y los precios individual y total.

Tabla 34

Descripción de los elementos electrónicos con sus costos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Pantalla TFT 128X128	1	4,58	4,58
Sensor ultrasónico HC-SR04	1	0,51	0,51
Sensor de color TCS3200	1	2,4	2,4
Motor N20 -30 con encoder	2	3	6
Manufactura de la placa PCB	1	5	5
Driver TB6612FNG	1	0,59	0,59
ESP WROOM 32	1	2,86	2,86

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Conectores JST (macho y hembra)	4	0,8	3,2
Módulo de protección de carga	1	0,98	0,98
Pin de carga	1	0,5	0,5
		Total	26,62

Elementos Mecánicos

En la Tabla 35 muestran los componentes, cantidad y los precios individual y total.

Tabla 35

Descripción de los elementos mecánicos con sus costos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Imán de neodimio	10	0,15	1,5
Impresión 3D	1	20	20
Corte láser del tablero	1	15	15
Tornillos	20	0,05	1
Llantas	2	1,2	2,4
Rueda loca	2	3,5	7
		Total	46,9

El mayor costo se lleva la parte de manufactura, es decir la parte mecánica del robot y en el corte láser del tablero adicional. En la Tabla 36 se resume el costo total del robot.

Tabla 36

Resumen del costo del robot

Descripción	Precio
Elementos electrónicos	26.62
Elementos mecánicos	46.9
Total	73.52

El costo total del robot BIMO es de 73.52 dólares americanos, este precio es muy competitivo frente a los precios que maneja la competencia, que van desde los \$ 120 hasta los \$ 300 y que prestan similares especificaciones del kit del robot BIMO. De esta manera se consigue que este tipo de dispositivos sean más accesibles para la población ecuatoriana.

Cabe aclarar que para producir cada kit tiene un precio de \$ 73.52, pero para desarrollar el proyecto se realizaron 5 pruebas adicionales para fines de comprobación de funcionamiento y pruebas en general, dando un total de \$ 367,6.

Capítulo V

Pruebas


Continuando con la ejecución de la norma VDI 2206, después de la implementación de los elementos del sistema se realiza una verificación del sistema, las pruebas para el robot en este caso se van a realizar del funcionamiento correcto de sus subsistemas, también se realizarán pruebas con niños de la edad a la que el robot está dirigido con el propósito de validar y verificar el funcionamiento y los requerimientos establecidos.

Pruebas de resistencia de las partes mecánicas

Para realizar esta prueba de resistencia mecánica se somete al cuerpo principal (chasis) y cabeza por separado a una prueba de presión aplicando diferente peso progresivamente y observando si existe algún agrietamiento. El objetivo de esta prueba es verificar la durabilidad del material de la estructura mecánica principal en condiciones de uso y posibles circunstancias que se coloque carga al robot, de esta manera también se comprueba que el robot resiste impactos en entornos estudiantiles. Para comenzar se aplicará cargas estáticas desde los 18kg hasta los 40kg, estos 40kg dan como resultado una fuerza de 392.4 N

Tabla 37

Prueba de resistencia de las partes mecánicas

Peso	Imagen
18.14 kg	

Peso**Imagen**

40.82 kg



18.14 kg




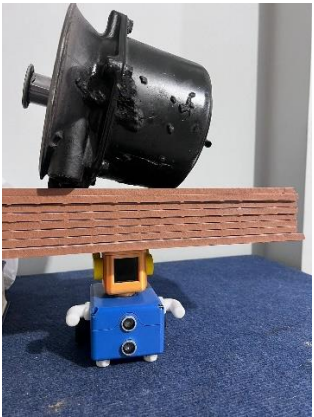
40.82 kg



Aplicando una carga estática de 40,82 kg no se evidencia ninguna deformación ni tampoco rotura en ninguna de las partes principales. Ahora se procede a aplicar la carga al robot con todos los componentes ensamblados.


Tabla 38

Carga aplicada en el ensamblaje

Peso	Imagen
18.14 kg	
40.82 kg	

Para la prueba de impacto se utiliza una carga de 40kg desde una distancia de 40 cm y 90 cm, esto da la equivalencia de aplicar 400.44 N como se muestra en la Tabla 39 para de esta manera simular una caída, para esta prueba se somete únicamente la parte mecánica del robot.

Tabla 39*Prueba de impacto en la estructura principal*

Altura	Imagen
40cm	
90cm	

Prueba de autonomía de baterías

Para esta prueba el robot se somete a un ciclo de acciones que consiste en lo posible de mover al robot durante todo el tiempo que su batería soporte, realizar mediciones de distancia y la distinción de colores con el objetivo de poner a prueba la batería del robot. Al

inicio de la primera se dejará al robot prendido sin hacer ninguna acción y al cabo de 10 minutos se utilizará en lo máximo posible sus sensores y actuadores. En la se prueba la autonomía de la batería.

Tiempo (min)	Voltaje
0	4.4
15	4.4
30	4.3
45	4
60	3.9
75	3.7
90	3.6
105	3.5

El robot ha permanecido una hora y cuarenta y cinco minutos encendidos con todos sus sensores y actuadores funcionando al 100% cabe recalcar que el módulo de protección de carga ayuda a que siempre se suministre 5V de alimentación a la placa, pese a que la batería se encuentre con valores muy bajos de voltaje.

Durante las actividades realistas del uso del robot con los niños el nivel de voltaje de la batería no debe ser menos de 2,5 V para conservar su buen estado, con base a esto y que el robot no todo el tiempo va a estar moviéndose ni haciendo uso de todos los sensores es plausible considerar que el robot tenga una autonomía de 3 horas de uso continuo.

Pruebas del funcionamiento del proyecto con los niños de 9 a 12 años

Para realizar las pruebas de funcionamiento del robot se elige una población acorde a la edad para el que fue diseñado el robot, el lugar en el que se realizaron las pruebas fue en el Barrio Patután, al norte de la ciudad en el Catecismo de la localidad. Cabe recalcar que a este establecimiento acuden niños y niñas provenientes de todas las escuelas del cantón Latacunga. Esta localidad es un poco alejada de la ciudad y los niños tienen escaso acercamiento a este tipo de herramientas de aprendizaje, por lo que al presentar al robot causó sensación en los niños como se muestra en la Figura 69.

Figura 69

Primera sensación de los niños al observar al robot



Inducción

Para empezar con la prueba se explica a los niños el propósito para el que fue construido el robot, además se les dio una pequeña capacitación en cuanto a principios de robótica educativa, explicando las partes del robot y de que estaba compuesto, de manera

rápida y mientras realizaban el primer cuestionario se detalló cada una de las partes del robot y cuáles eran sus funciones principales. Concluido con el primer cuestionario se les mostró la función del robot de aprendizaje y de juegos.

Figura 70

Inducción del robot a los participantes



Uso del robot

Una vez que se explicó a los niños el funcionamiento del robot se procede a encenderlo y conectar al móvil. De inmediato los niños querían maniobrarlo, se les explicó de manera detallada lo que hacía cada juego en el que les atrajo más el juego de control remoto debido a que querían un robot que simule el movimiento de un carro. En la se muestra la inducción de funcionamiento a los niños.

Figura 71

Explicación del funcionamiento del robot



En la se presenta el juego de laberinto desarrollado por un alumno del establecimiento.

Figura 72

Alumnos del establecimiento participando de los juegos

**Análisis de resultados de las pruebas de conocimiento**

Las pruebas realizadas a los niños de 10 a 12 años se ejecutaron en dos partes, la primera prueba se realizó al momento de la inducción, en la que se evaluaron conocimientos básicos de ciencia, matemática historia y artes, todas las asignaturas excepto la de matemática eran de temas referentes al país. Después de explicar a los niños la funcionalidad del robot y ellos ejecutar los bancos de preguntas se realizó la segunda prueba para comparar los

conocimientos antes y después de la introducción del robot. Los resultados se pueden visualizar en la Tabla 40. Para las encuestas participaron 12 niños.

Tabla 40

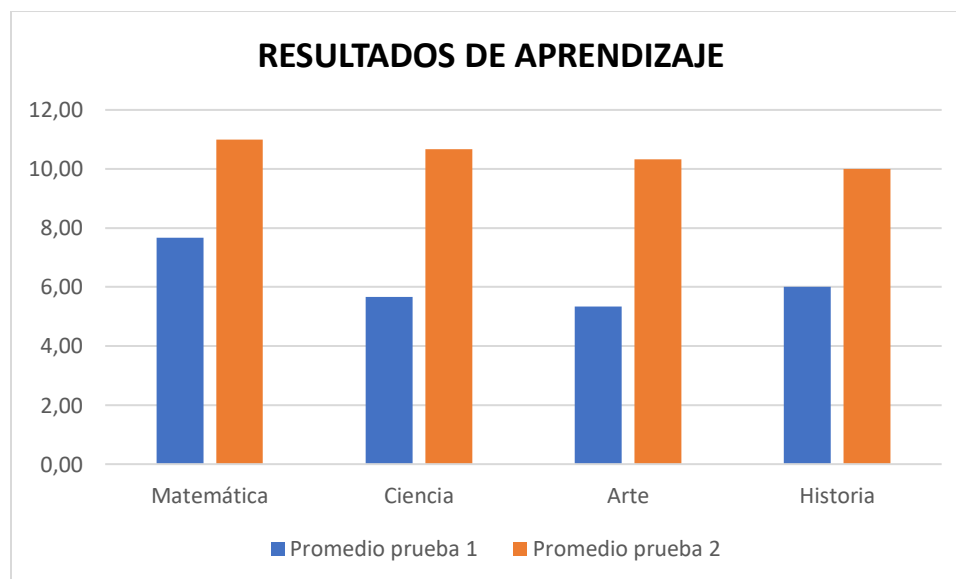
Resultados del cuestionario de aprendizaje

	Promedio prueba 1	Promedio prueba 2
Matemática	7,67	11
Ciencia	5,67	10,6666667
Arte	5,33	10,3333333
Historia	6	10

En la Tabla 31 se presenta el promedio general de las materias evaluadas, tiene un cambio significativo frente a las pruebas iniciales debido a que los niños necesitan refuerzo en temas ligados a los módulos de aprendizaje propuestos. El cuestionario se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 41

Comparativa de resultados con y sin el uso del robot.



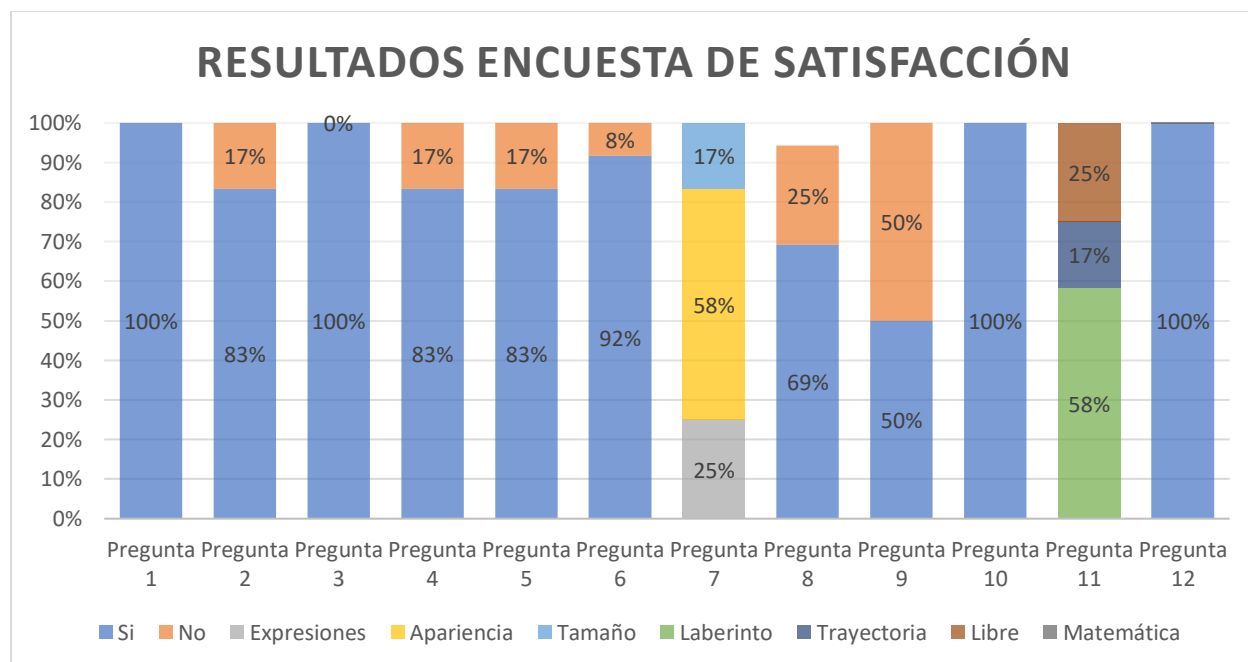
Todos los resultados de las evaluaciones realizadas de los alumnos se encuentran en el apartado de Anexos para los fines pertinentes.

Análisis de resultados de encuestas de satisfacción

En conjunto con las pruebas se entregó una encuesta de satisfacción del robot a los niños que participaron en la inducción, el propósito de la misma es evaluar la satisfacción del robot BIMO y de la aplicación. El cuestionario se encuentra en el Anexo 3.

Figura 73

Resultados obtenidos mediante la encuesta de satisfacción



Validación de la Hipótesis

Para validar la hipótesis del proyecto se utiliza el método T student o de pares dependientes, este método estadístico se utiliza cuando los valores de una prueba corresponden a medidas emparejadas, como el caso en cuestión que se tiene valores antes y después. La pregunta que se realiza es ¿Mediante el diseño y fabricación del robot social se contribuye al aprendizaje de los niños de 9 a 12 años?

Para la aplicación de la prueba T se plantean las hipótesis de la siguiente manera:

- H_0 : Mediante el diseño y fabricación de un robot social, se contribuirá al aprendizaje de niños y niñas de 9 a 12 años.
- H_1 : Mediante el diseño y fabricación de un robot social, no se contribuirá al aprendizaje de niños y niñas de 9 a 12 años.

Con la finalidad de validar la hipótesis se establecen las siguientes condiciones:

- Si el $t_c < t_t$ entonces se rechaza H_0
- Si el $t_c > t_t$ entonces se rechaza H_0

Primero se calcula la estadística de prueba para lo que se debe conocer el valor de la diferencia, desviación estándar y tamaño de muestra.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Obteniendo un resultado de 1,1547 para la desviación estándar el siguiente paso es calcular el error estándar

$$S_e = \frac{S_d}{\sqrt{n}} = \frac{1.1547}{\sqrt{12}} = 0.333$$

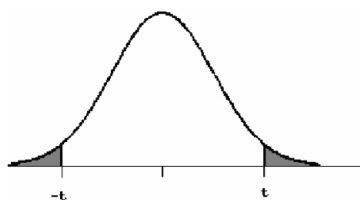
Se calcula el valor de t_c con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ para hallar el valor de distribución de t mediante tablas.

$$t_c = \frac{\bar{x}}{S_e} = \frac{4.33}{0.333} = 13.12$$

$$gl = n - 1 = 12 - 1 = 11$$

El valor de t_t con un $\alpha = 0.05$ y 11 grados de libertad es de 2.201

Figura 74

Tabla de cuantiles de la distribución *t* Student

(a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.

(b) Si H_a es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.

gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Nota. Tomado de (*T student dos colas.pdf*, n.d.)

Debido a que $t_c = 13.12 > t_t = 2.201$ se retiene la hipótesis nula y se desecha la hipótesis alternativa, por lo tanto, la hipótesis nula es la ganadora en que mediante el diseño y fabricación de un robot social si se contribuirá al aprendizaje de niños y niñas de 9 a 12 años. Está con el 95% de seguridad de que existe una diferencia significativa en el rendimiento académico de los estudiantes al utilizar el robot social.

Conclusiones

Se desarrolló un robot asistente útil para niños y niñas de 9 a 12 años de edad, siendo este robot una herramienta que permita a la niñez el acercamiento a una nueva metodología de educación como es la STEAM. El robot asistente es modular y compacto en su diseño con medidas de 12x11.3x13 cm lo que le hace fácil de guardar y transportar a los niños, a su vez el robot es ligero con un peso de 530 gr. El robot permite enseñar asignaturas ligadas a la metodología STEAM mediante módulos de aprendizaje que enseñan temas de historia, ciencia, matemática y arte, todos con referencia en la cultura e historia ecuatoriana. El robot incluye una aplicación móvil propia que permite la integración de las subfunciones y facilita la integración usuario – robot.

En trabajo conjunto con el personal técnico del MIES de la dirección distrital de Latacunga se identificaron las necesidades y requerimientos del robot teniendo en cuenta que su destino eran niños y niñas de 9 a 12 años, para ello se aplicó la norma VDI 2206 y con base en los requerimientos obtenidos se generaron las características técnicas, se realizó matriz QFD o casa de la calidad con la que resultó que los módulos de aprendizaje y el diseño compacto son las características más importantes teniendo un porcentaje de 10,96% y 9,90 % de importancia para la fabricación del proyecto respectivamente.

Se realizó el diseño de conceptos con base en la matriz de la casa de la calidad, posterior se realizó una ponderación y se eligió la mejor alternativa para el diseño. Luego se seleccionaron los mejores componentes y elementos electrónicos para ello se tuvo en cuenta el requerimiento de portabilidad y se diseñó un robot lo más compacto posible y de una buena distribución de componentes.

Se diseñó la estructura mecánica del robot con base en la portabilidad y el diseño de conceptos que el robot tenía que ser de fácil manufactura, para este proceso se utilizó la

manufactura aditiva FDM, el material seleccionado fue el PETG después de haber hecho un análisis exhaustivo de todos los materiales disponibles para la impresión 3D en el país. Las pruebas del análisis CAE para verificar la fiabilidad mecánica del robot en los entornos de trabajo obtuvo como resultado una tensión máxima de 18.39 MPa con una fuerza de impacto de 2010.65 Nm que es equivalente a una carga de 40Kg. aproximadamente.

Se diseñó la placa PCB que cumple con las normativas IPC6012e, lo que estableció que el producto entra en la categoría 1 de las placas comerciales que sus agujeros son de 0,5mm y entra dentro de las especificaciones permitidas por la norma, además del ancho de pista que es superior a 0.007 pulgadas y se establece en los requisitos de fácil mantenibilidad y reparación ya que todos sus componentes son reemplazables. Además, la empresa en la que se realizó la placa cuenta con todas las normativas vigentes para su fabricación y su sistema de manufactura me ayudó para realizar la placa en ambos sentidos y con acabado metálico.

Se desarrolló el aplicativo móvil utilizando el motor de gráfico Unity 3D que permite una fácil y rápida exportación de la aplicación hacia los dispositivos móviles.

Recomendaciones

Utilizar el robot social como una herramienta complementaria del aprendizaje y siempre guiado de un educador a cargo. La incorporación del robot asistente en el entorno educativo es como su nombre lo dice, asistente y no un sustituto de la educación convencional que se maneja hasta el día de hoy.

Para una producción en escala mayorista del robot se recomienda realizar una matriz para inyección de plástico para la fabricación de las diferentes piezas con el objetivo de abaratar costos y tiempo de entrega de los dispositivos.

Con el transcurso del tiempo y la modernización de las librerías dentro del entorno gráfico se puede añadir nuevos juegos en base a los que ya tiene precargado que mejoren el rendimiento del niño a un nivel más avanzado de programación.

No exponer al robot a entornos peligrosos como fuego o agua ya que contiene elementos como sensores y actuadores y la pantalla a la intemperie. Se recomienda manejar el robot dentro de un entorno cerrado por el haz de luz que afecta de manera menor el funcionamiento del sensor de color.

En un inicio se trabajó con el Ministerio de inclusión Económica y Social (MIES), quienes nos ayudaron en la fomentación de información en cuanto al requerimiento de los niños, cabe recalcar que al finalizar este tema de integración curricular las pruebas de validación se realizaron en otro establecimiento que no era parte del MIES, se debería utilizar el proyecto para continuar con el grupo de trabajo que desde un inicio requería del robot.

Bibliografía

- Abad, K., Sánchez, M., Crespo, J., & Alvarado, J. (2017). Sistemas de reconocimiento en la robótica social. *Septiembre de 2017*.
- Aguirre, J. P. S., Vaca, V. del C. C., & Vaca, M. C. (2019). Educación Steam: Entrada a la sociedad del conocimiento. *Ciencia Digital*, 3(3.4.), Article 3.4.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..847>
- Alfaro, V. M. (2006). Identificación de modelos de orden reducido a partir de la curva de reacción del proceso. *Ciencia y Tecnología: Revista de la Universidad de Costa Rica*, 24(2), 197–216.
- Amazon. (n.d.). *MH12210 3.7v 4400mAh 1S2P Li ion batería recargable*. Retrieved February 23, 2024, from <https://www.amazon.com/-/es/1S2P-recargable-conector-16-28Wh-4-4A/dp/B09CH9FC35?th=1>
- Appy Builder: Una app para crear apps Android, sin programar*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from <https://www.entramar.mvl.edu.ar/appy-builder-una-app-para-crear-apps-android-sin-programar/>
- Arduino Hardware*. (2022). <https://www.arduino.cc/en/hardware>
- Bateria LiPo Turnigy Nano-Tech Plus 650mAh 1S 70C – Novatronic*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from <https://novatronic.com/index.php/product/bateria-lipo-turnigy-nano-tech-plus-650mah-1s-70c/>
- Baterias 18650 Samsung 25r 2500mah Nuevas 100% Original Vape—U\$S 11,98*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-527807028-baterias-18650-samsung-25r-2500mah-nuevas-100-original-vape-_JM
- 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>

- Bulla, D., Gómez, J., & Terán, S. (2020, October 16). *Informe Robotica Movil | PDF | Robot | Robótica*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/480331494/Informe-Robotica-Movil>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. National Science Teachers Association.
- Celis, D., & González, R. (2021). Aporte de la metodología STEAM en los procesos curriculares. *4 de Febrero de 2021*, 24.
- Cerda, E. (2018). *Apuntes de Mecánica de Estructuras Flexibles*.
- Chancusig Llano, A. P., & Puentes Benalcázar, D. M. (2023). *Diseño y construcción de un prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos, controlado mediante aplicación móvil*.
- Dale, E. (1969). *Audiovisual methods in teaching. Third edition*. Dryden Press; Holt, Rinehart & Winston.
- Display Pantalla Lcd TFT 1.44 Pulgadas 128x128 Spi ILI9163 5V 3.3V - yorobotics*. (2021, April 25). <https://yorobotics.co/producto/pantalla-lcd-tft-1-44-pulg-128x128-spi-ili9163-5v-3-3v-arduino>
- Escobar, R. A. A., Soto, G. Y. A., Terán, E. P. B., Mesa, M. E. C., & Sandoval, L. M. C. (2016). *La Robótica Pedagógica como Herramienta para la Construcción de Aprendizajes Significativos en el Aula*.
- García Mejía, R. O., & García Vera, C. E. (2020). Metodología STEAM y su uso en Matemáticas para estudiantes de bachillerato en tiempos de pandemia Covid-19. *Dominio de las Ciencias*, 6(Extra 3), 163–180.
- Gausemeier, J., & Moehring, S. (2003, August 19). NEW GUIDELINE VDI 2206 – A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS. *ICED 03 STOCKHOLM*, 10.

- Gómez-León, M. I. & Universidad Internacional de La Rioja, España. (2022). Development of empathy through Socioemotional Artificial Intelligence. *Papeles del Psicólogo - Psychologist Papers*, 43(3), 218. <https://doi.org/10.23923/pap.psicol.2996>
- HCSR04 Sensor ultrasónico – Novatronic*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from <https://novatronic.ec.com/index.php/product/hcsr04-sensor-ultrasonico/>
- Honey, M. (2013). *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*. Routledge.
- La pirámide de aprendizaje: ¿mito o realidad? (2021, January 31). *Proyecto de Maestro*. <https://proyectodemaestro.com/2021/01/31/la-piramide-de-aprendizaje-mito-o-realidad/>
- Márquez D., J. E., & Ruiz F., J. H. (2014). Robótica educativa aplicada a la enseñanza básica secundaria. *Didáctica, innovación y multimedia*, 30, 1–12.
- mBot Robot kit for Beginners to Learn Block Based Coding and Arduino / Makeblock*. (n.d.). Makeblock. Retrieved February 19, 2024, from <https://www.makeblock.com/pages/mbot-robot-kit>
- Megatrónica. (2019). *Esp32s 38 Pines Wifi + Bluetooth, lot esp32 wroom*. <https://megatronica.cc/producto/esp32s-38-pines-wifi-bluetooth-iot/>
- Micromotor DC12V N20 600rpm 1:50 – Novatronic*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from <https://novatronic.ec.com/index.php/product/micromotor-dc12v-n20-600rpm-150/>
- Micromotor GA12-N20 con encoder de efecto hall 6V 30RPM 488:1 – Novatronic*. (n.d.). Retrieved February 27, 2024, from <https://novatronic.ec.com/index.php/product/micromotor-ga12-n20-con-encoder-de-efecto-hall-6v-30rpm-4881/>
- Micromotor N20 6V 1000 RPM 10:1 – Novatronic*. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from <https://novatronic.ec.com/index.php/product/micromotor-n20-6v-1000-rpm-101/>

- Motorreductor amarillo para Arduino®*. (n.d.). TECmikro Ecuador. Retrieved February 23, 2024, from <https://tecmikro.com/motores/482-motorreductor-amarillo-para-arduino.html>
- Perez, V., & Castro, G. (2017, September). *Actas de laXXXVIII jornadas de Automática*. 29.
- Pittí Patiño, K., Muñoz, L., Moreno, I., & Serracín Pittí, J. R. (2012). *La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías*. 18.
- ¿Qué es Flutter? - Explicación de la aplicación Flutter - AWS*. (n.d.). Amazon Web Services, Inc. Retrieved February 23, 2024, from <https://aws.amazon.com/es/what-is/flutter/>
- Qué es Unity y características principales*. (2019, June 10). OpenWebinars.net. <https://openwebinars.net/blog/que-es-unity/>
- Raposo, M., García, O., & Martínez, E. (2022, July 7). La robótica educativa desde las áreas STEAM en educación infantil. *Revista Prisma Social*, 38, 20.
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente* (UPC).
- ROBOTIX. (n.d.). *LEGO MINDSTORMS Robot Inventor* |. Retrieved February 19, 2024, from <https://www.robotix.es/es/mindstorms-robot-inventor>
- Ruiz, E., & Velasco, S. (2007). *Educatrónica* (1–5). Ediciones Díaz de Santos.
- Sanders, M. (2009). *STEM,STEM Education, STEMmania*.
- SENESCYT. (2018, October 30). *STEAM Ecuador incentiva el estudio de las ciencias en la niñez*. El Nuevo Ecuador. <https://www.educacionsuperior.gob.ec/stem-ecuador-incentiva-el-estudio-de-las-ciencias-en-la-ninez/>
- Shoptronica. (2020). *Conector JST XHP polarizado*. <https://www.shoptronica.com/conectores-jst/5482-conector-jst-xhp-polarizados-25mm-hembra-con-cables-8944748464583.html>
- Silveira, G. (2019, May 23). *Qual a importância da seleção de materiais? - Afinko*. <https://afinkopolimeros.com.br/importancia-da-selecao-de-materiais/>
- STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. (2014). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>

STM32F103C8T6 Tarjeta de Desarrollo Cortex M3. (2022). *UNIT Electronics*.

<https://uelectronics.com/producto/stm32f103c8t6-tarjeta-de-desarrollo-cortex-m3-blue-pill-stm32f103c/>

Suarez-Gomez, A., & Perez-Holguin, W. (2020). Modulo IP basado en FPGA para la decodificación de encoders de cuadratura. *Revista Politécnica*, 16, 68–76.

<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n32a6>

T student dos colas.pdf. (n.d.). Retrieved February 28, 2024, from

<https://www.coursehero.com/file/56199813/T-student-dos-colaspdf/>

TB6612FNG Driver para motor DC – Novatronic. (n.d.). Retrieved February 23, 2024, from

<https://novatronicec.com/index.php/product/tb6612fng-driver-para-motor-dc/>

TP4056 Tipo C Módulo de carga para batería Lipo 1A – Novatronic. (n.d.). Retrieved February

26, 2024, from <https://novatronicec.com/index.php/product/tp4056-tipo-c-modulo-de-carga-para-bateria-lipo-1a/>

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta, Vol. 7).

McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

UNIT, E. (2020, September 17). ESP32 38 Pines ESP WROOM 32. *UNIT Electronics*.

<https://uelectronics.com/producto/esp32-38-pines-esp-wroom-32/>

Uso del robot VEX 123. (2023, October 11). Biblioteca STEM.

<https://kb.vex.com/hc/es/articles/360055392011-Uso-del-robot-VEX-123>

Velasco Wiesner, J. (2020). *Tabla de talla, peso según edad en niños y adolescentes*.

<https://www.medicosecuador.com/espanol/noticias/nocitia24.htm>

Vex 123 y el Proyecto de Robótica Educativa VEX. (n.d.). Retrieved February 19, 2024, from

<https://www.hiperescola.com/es/vex-123-robotica-escolar>

Wiese, E., Metta, G., & Wykowska, A. (2017). Robots As Intentional Agents: Using

Neuroscientific Methods to Make Robots Appear More Social. *Frontiers in Psychology*,

8. <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2017.01663>

Yakman, G. (2008). STΣ@ M Education: An overview of creating a model of integrative education. Pupils Attitudes Towards Technology. *2008 Annual Proceedings. Netherlands.*

Anexos