



**Diseño e implementación de un robot educativo con realidad aumentada para el
aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.**

Achig Yépez, Ángel Sebastián y Chimbolema Lema, Jhonatan Steven

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Comina Tubón, Mayra Elizabeth Ph. D.

28 de julio de 2026



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

v3_Achig_Chimbolema (1)

ID : cc78669d98c8143df851522a7b370f5efaf70d6b



2%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : v3_Achig_Chimbolema (1).txt
Tamaño del archivo original : 3,37 MB
Número de palabras : 19.790

Depositante : MAYRA ELIZABETH COMINA TUBON
Fecha de depósito : 28 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 28 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

2%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

<1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MAYRA ELIZABETH
COMINA TUBON

Ing. Comina Tubón, Mayra Elizabeth Ph.D

Directora



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño e implementación de un robot educativo con realidad aumentada para el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.”** fue realizado por los señores **Achig Yépez, Ángel Sebastián y Chimbolema Lema, Jhonatan Steven** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. 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.

Sangolquí, 28 de julio de 2026



Ing. Comina Tubón, Mayra Elizabeth Ph.D

Directora

C.C.: 1724994684



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Achig Yépez, Ángel Sebastián** y **Chimbolema Lema, Jhonatan Steven**, con cédulas de ciudadanía n° 1753417300 y n° 1728791250, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño e implementación de un robot educativo con realidad aumentada para el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 28 de julio de 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ANGEL SEBASTIAN
ACHIG YEPEZ**

Achig Yépez, Ángel Sebastián

C.C.: 1753417300



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN STEVEN
CHIMBOLEMA LEMA**

Chimbolema Lema, Jhonatan Steven

C.C.: 1728791250



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros **Achig Yépez, Ángel Sebastián y Chimbolema Lema, Jhonatan Steven**, con cédulas de ciudadanía n° 1753417300 y n° 1728791250, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Diseño e implementación de un robot educativo con realidad aumentada para el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 28 de julio de 2026



Achig Yépez, Ángel Sebastián

C.C.: 1753417300



Chimbolema Lema, Jhonatan Steven

C.C.: 1728791250

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, María y Miguel, porque este logro es tan mío como suyo. Gracias por ser mi mayor ejemplo de amor, trabajo y constancia. Por sostenerme en los momentos difíciles y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, todo lo que soy hoy en día es gracias a ustedes. A mi abuelita Elvira que está en el cielo, siento que le hubiera gustado ver como su nieto cumple su mayor sueño en la vida.

ACHIG YÉPEZ, ÁNGEL SEBASTIÁN

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia quienes de una u otra forma fueron parte de este camino. De manera especial a mi madre Patricia Guaila mi mayor ejemplo de perseverancia y fortaleza, ella me brindo las herramientas necesarias para forjar mi camino académico por ello este trabajo lleva su nombre grabado en cada página porque sin su esfuerzo incansable nada de esto sería posible.

CHIMBOLEMA LEMA, JHONATAN STEVEN

Agradecimiento

Primero que nada, agradezco a Dios por darme las fuerzas para seguir adelante y guiarme por el buen camino. Agradezco a mis padres, María y Miguel por ser mi soporte, guía y ejemplo de superación día a día, por siempre buscar lo mejor para mí y siempre motivarme a seguir adelante. A mis hermanos, Juan y Micaela por el apoyo recibido en lo que he necesitado, aunque sea con palabras de aliento o una sonrisa. Agradezco a mi novia, Melanie por su apoyo y amor, por enseñarme a hacer las cosas un día a la vez y que todo tiene solución. Agradezco a mi tía Martha por brindarme su apoyo en todo momento, siempre estando al pendiente y diciéndome que siga adelante. Agradezco a mi tutora, Ing. Mayra Elizabeth Comina Tubón por su guía, por sus sugerencias y observaciones a lo largo de este trabajo, que fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este. Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por este trayecto donde he conocido gente muy valiosa, tanto como compañeros como docentes. Gracias a todos por ayudarme a cumplir esta meta.

ACHIG YÉPEZ, ÁNGEL SEBASTIÁN

Agradecimiento

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes me apoyaron tanto emocional como económicamente a lo largo de este trayecto universitario. De manera especial, agradezco a mi madre Patricia Guailla, cuyo esfuerzo diario y constancia fueron el motor que me impulsó a no rendirme en ningún momento, y a mi hermano Alexander Chimbolema, quien desde el inicio de esta etapa fue un apoyo incondicional y una motivación constante con su ejemplo. Cada logro alcanzado a lo largo de este proceso lleva consigo su esfuerzo y sacrificio, por lo que este trabajo refleja también su cariño y confianza en mí. Asimismo, deseo agradecer a mi tutora de tesis Ing. Mayra Elizabeth Comina Tubón, por su acompañamiento constante, su disposición y su valiosa orientación a lo largo de todo el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos, observaciones y sugerencias fueron determinantes para superar cada dificultad presentada en el camino, y su exigencia académica contribuyó de manera significativa a mi crecimiento tanto profesional como personal. Finalmente, agradezco a mis amigos y a todas las personas que de una u otra manera, formaron parte de este proceso, aportando su tiempo y apoyo, contribuyendo así a la culminación exitosa de este trabajo de investigación.

CHIMBOLEMA LEMA, JHONATAN STEVEN

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen	15
Capítulo 1: Introducción	17
El problema de la investigación.....	17
Antecedentes.....	17
Planteamiento del problema.....	19
Justificación e Importancia	20
Objetivos.....	21
Alcance del Proyecto	22
Capítulo 2: Estado del arte.....	25
Robótica educativa en la Enseñanza, aprendizaje y comprensión de las ciencias.	25
Robótica educativa en el desarrollo del pensamiento computacional.....	28
La realidad aumentada como recurso pedagógico.....	29
Combinación de inteligencia artificial y la realidad aumentada en la educación.	30
Capítulo 3: Diseño e Implementación.....	37
Diseño conceptual	37
Diseño mecánico	51
Diseño electrónico	64
Sistema de control y comunicaciones	67
Desarrollo de la interfaz gráfica.....	70
Integración de inteligencia artificial.....	75
Integración de la realidad aumentada	78

Integración de experiencia inmersiva	80
Construcción del prototipo	81
Capítulo 4: Pruebas y resultados	87
Verificación y validación del funcionamiento del prototipo	87
Pruebas de accionamiento de los actuadores	87
Pruebas del software	89
Pruebas de la realidad aumentada.....	90
Pruebas de la inteligencia artificial	91
Pruebas de consumo eléctrico	94
Verificación y validación del funcionamiento del sistema	96
Análisis de costos	99
Discusión de los resultados.....	102
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones	105
Conclusiones basadas en los resultados y objetivos del proyecto	105
Recomendaciones y trabajos futuros	107
Referencias.....	108
Apéndices	113

Índice de tablas

Tabla 1 Desafíos y obstáculos	19
Tabla 2 Resumen de trabajos realizados.	32
Tabla 3 Requerimientos del robot.	37
Tabla 4 Características técnicas ordenadas en orden descendente de acuerdo con el porcentaje de aprobación obtenido de la matriz QFD.....	40
Tabla 5 Módulo 1 (Visualización gráfica).....	41
Tabla 6 Submódulo 1 (Pantalla).....	41
Tabla 7 Módulo 2 (Tarjeta de control)	42
Tabla 8 Submódulo 2 (Tarjeta de control)	42
Tabla 9 Módulo 3 (Material de impresión)	43
Tabla 10 Módulo 4 (Fuente de energía)	43
Tabla 11 Módulo 5 (Motores)	44
Tabla 12 Submódulo 3 (Servomotor para brazos).....	44
Tabla 13 Submódulo 4 (Motorreductores-robot móvil).....	45
Tabla 14 Módulo 6 (Proyector).....	45
Tabla 15 Matriz de calificaciones.	50
Tabla 16 Matriz de selección de concepto.	50
Tabla 17 Propiedades material PETG.....	53
Tabla 18 <i>Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas</i>	57
Tabla 19 Propiedades material ABS.	59
Tabla 20 Elementos electrónicos del robot.....	64
Tabla 21 Elementos electrónicos siempre activos.....	64
Tabla 22 Elementos activados por señales a relés.....	65
Tabla 23 Evaluación de modelos IA.	76

Tabla 24 Matriz de calificación.	87
Tabla 25 Resultados de la prueba de motores DC para el apartado móvil.	88
Tabla 26 Resultados de la prueba de servomotores para el movimiento de los brazos.	88
Tabla 27 Resultados de la prueba de software de la interfaz.	89
Tabla 28 Resultados de la prueba de RA en la interfaz.	90
Tabla 29 Resultados de la prueba de distancia de la RA en la interfaz.	91
Tabla 30 Frases a interpretar la IA.	92
Tabla 31 Resultados de la interacción con la IA.	92
Tabla 32 Resultados finales cuantificados de la IA.	93
Tabla 33 Valores medidos de consumo de corriente por componente.	95
Tabla 34 Resultados de la encuesta realizada a docentes de Educación Inicial.	97
Tabla 35 Resultados de la encuesta realizada sobre el funcionamiento técnico. técnica.	98
Tabla 36 Costo de fabricación del prototipo AstroBot.	99
Tabla 37 Características de robots comerciales.	100
Tabla 38 Comparativa de AstroBot y robots comerciales.	101

Índice de figuras

Figura 1 Matriz QFD de las necesidades del producto robótico	39
Figura 2 Concepto 1 del robot.	47
Figura 3 Concepto 2 del robot.	48
Figura 4 Concepto 3 del robot.	49
Figura 5 Modelo brazo robot modelado.	51
Figura 6 Eje de acoplamiento para brazo del robot.....	52
Figura 7 Análisis estático del eje de los brazos del robot.	54
Figura 8 Análisis de desplazamiento del eje de los brazos del robot.	55
Figura 9 Análisis de factor de seguridad del eje de los brazos del robot.	55
Figura 10 Catálogo de rodamiento serie 6805-2RS.	56
Figura 11 Rueda para motor DC movimiento continuo.	59
Figura 12 Análisis estático de rueda para motor DC movimiento continuo.....	61
Figura 13 Análisis del desplazamiento de rueda para motor DC movimiento continuo.	61
Figura 14 Análisis de factor de seguridad de rueda para motor DC.	62
Figura 15 Ensamble completo del robot.....	63
Figura 16 Diagrama de conexiones del sistema electrónico.	67
Figura 17 Diagrama de conexión del módulo PCA9685 y la Raspberry Pi 5.	68
Figura 18 Diagrama de conexión del módulo BTS7960 y la Raspberry Pi 5.	69
Figura 19 D Interfaz gráfica principal.	70
Figura 20 Panel de configuración de red wifi.	71
Figura 21 Panel de selección de modo educativo.....	71
Figura 22 Apartado de guías audiovisuales.	72
Figura 23 Actividad propuesta Kahoot con tema espacial.....	73
Figura 24 Menú completo de Actividades Recreativas.....	73

Figura 25	Pantalla de conexión del Modo Control.....	74
Figura 26	Diagrama de flujo de activación de la IA.	75
Figura 27	Interfaz del asistente conversatorio con IA.....	77
Figura 28	Representación de persona frente al robot con casco de astronauta.....	78
Figura 29	Diseño de casco para la actividad de colocación sobre la persona con RA.	79
Figura 30	Interfaz de RA dinámica con reconocimiento de manos.....	79
Figura 31	Proyección ambiental de AstroBot.	80
Figura 32	Interfaz de conexión al robot.....	81
Figura 33	Preparación de las piezas en el software de la impresora 3D.	82
Figura 34	Cabeza del robot impresa.....	82
Figura 35	Cabeza masillado y lijada.	83
Figura 36	Cabeza pintada con primer y fondo blanco.	84
Figura 37	Acople del servomotor para movimiento de brazos.....	84
Figura 38	Base para los servomotores de las ruedas del robot.....	85
Figura 39	Pantalla y cámara ensamblas en el cuerpo frontal del robot.	85
Figura 40	Robot ensamblado completo.	86

Resumen

El presente trabajo describe el diseño e implementación de un robot educativo, denominado AstroBot, que incorpora realidad aumentada e inteligencia artificial para apoyar el aprendizaje de temas relacionados con la ciencia y el espacio en niños. El desarrollo surge como una alternativa para complementar los recursos didácticos actuales mediante una herramienta basada en el enfoque STEM, capaz de combinar la interacción física del robot con contenidos digitales que favorecen la participación y el interés durante el aprendizaje. La estructura mecánica se fabricó mediante impresión 3D en PETG, acorde a la norma NTE INEN-EN 71-1 que indica superficies redondeadas y sin puntos de corte; el análisis por elementos finitos determinó un factor de seguridad superior a 15 en el eje de los brazos y de 2,27 en el acople de las ruedas bajo condiciones dinámicas. El control se realiza con una Raspberry Pi 5 que gestiona por I2C el módulo PCA9685 para los servomotores MG996R de los brazos y dos módulos BTS7960 para los motores DC JGB37-520 de locomoción; la alimentación proviene de una batería LiFePO4 de 12V-15Ah, con autonomía de 3,83 h en uso continuo y 1,52 h con todos los actuadores simultáneos. En software se integró un asistente de IA híbrido con Gemini 2.5 Flash-Lite, Llama 3.3 70B y Piper TTS, un módulo de RA con librerías como OpenCV y MediaPipe. Las pruebas registraron 84 % de éxito en motores DC, 89,33 % en servomotores y 88 % en identificación de RA; la IA alcanzó un 83 % de efectividad en precisión de transcripción y calidad de respuesta. La evaluación técnica de docentes de Mecánica y Mecatrónica se obtuvo 4,86/5, y la validación pedagógica de docentes de Educación Inicial 4,96/5. El costo de fabricación de \$824,00 USD resulta competitivo frente a robots comerciales similares en el rango de \$900-\$1000 USD, con procesamiento local y sin depender de servidores externos. Se concluye que AstroBot integra sus sistemas mecánicos, electrónico y de software en una plataforma segura e interactiva, útil como apoyo para la enseñanza de la astronomía.

Palabras clave: robótica, astronomía, educación, inmersivo, interacción.

Abstract

This paper describes the design and implementation of an educational robot, called AstroBot, that incorporates augmented reality and artificial intelligence to support children's learning of topics related to science and space. The project was developed as an alternative to complement current teaching resources through a tool based on the STEM approach, capable of combining physical interaction with the robot and digital content that fosters engagement and interest during the learning process. The mechanical structure was manufactured through 3D printing in PETG, in accordance with the NTE INEN-EN 71-1 standard, which requires rounded surfaces and the absence of cutting points; the finite element analysis determined a safety factor greater than 15 for the arm shaft and of 2.27 for the wheel coupling under dynamic conditions. Control is carried out through a Raspberry Pi 5, which manages, via I2C, the PCA9685 module for the MG996R servomotors of the arms and two BTS7960 modules for the JGB37-520 DC motors of the locomotion system; power is supplied by a 12V-15Ah LiFePO4 battery, providing 3.83 h of autonomy under continuous use and 1.52 h with all actuators operating simultaneously. On the software side, a hybrid AI assistant was integrated using Gemini 2.5 Flash-Lite, Llama 3.3 70B, and Piper TTS, along with an AR module built with libraries such as OpenCV and MediaPipe. Testing recorded an 84% success rate for the DC motors, 89.33% for the servomotors, and 88% for AR identification; the AI reached 83% effectiveness in transcription accuracy and response quality. The technical evaluation by Mechanical and Mechatronics faculty scored 4.86/5, while the pedagogical validation by Early Childhood Education faculty reached 4.96/5. The manufacturing cost of \$824.00 USD is competitive against similar commercial robots in the \$900-\$1,000 USD range, while running on local processing without relying on external servers. It is concluded that AstroBot successfully integrates its mechanical, electronic, and software systems into a safe and interactive platform, serving as a useful tool to support the teaching of astronomy.

Keywords: robotics, astronomy, education, immersive, interaction.

Capítulo 1: Introducción

El problema de la investigación

En el presente capítulo se realiza una introducción en la cual se describe al dispositivo robótico a desarrollarse, en la cual se inicia con el análisis de sus antecedentes hasta las limitaciones que se tendrán al culminar el proyecto.

Antecedentes

La robótica educativa se ha consolidado como una estrategia pedagógica efectiva para fomentar el pensamiento lógico, la creatividad y la participación de los estudiantes en su proceso de aprendizaje. Su incorporación en el ámbito escolar permite el desarrollo de habilidades cognitivas, motrices y sociales mediante la manipulación directa de dispositivos programables que responden a las acciones del alumno (Kirksekiz & Kol, 2023).

La incorporación de tecnologías interactivas dentro del aula promueve entornos de aprendizaje más dinámicos y participativos, donde el niño se convierte en protagonista de su propio proceso educativo. De esta forma los robots educativos actúan como mediadores entre la curiosidad infantil y el conocimiento, permitiendo que el aprendizaje se construya de manera dinámica adaptada al ritmo de cada estudiante. Esta perspectiva sienta las bases para la integración de recursos tecnológicos más avanzados como la inteligencia artificial (IA) y la realidad aumentada (RA) (Fridberg & Redfors, 2024), orientados a fortalecer el desarrollo cognitivo y el pensamiento científico desde edades tempranas.

El enfoque STEAM integra la ciencia, la tecnología, la ingeniería, el arte y las matemáticas, y se ha convertido en una forma innovadora de enseñar desde la educación primaria. En este contexto, la robótica educativa cumple un papel importante porque permite que los niños participen activamente en su aprendizaje y comprendan mejor los contenidos. A través de estas actividades pueden explorar y desarrollar sus ideas llevando la teoría a la

práctica de una manera más clara, lo que despierta su curiosidad y fortalece su razonamiento lógico (Kirksekiz & Kol, 2023).

El uso de interfaces visuales, sonidos y movimientos programables genera una interacción directa entre los estudiantes y los dispositivos, lo cual contribuye a mantener la atención y mejorar la comprensión de los contenidos (Teo, 2025). Esta integración tecnológica favorece un aprendizaje activo (Fridberg & Redfors, 2024), en el que los niños construyen conocimiento a través de la manipulación, la observación y la experimentación. Estas características hacen que la robótica educativa sea una herramienta adecuada para introducir de forma progresiva recursos más avanzados como la inteligencia artificial y la realidad aumentada, los cuales buscan enriquecer la experiencia educativa y fomentar la creatividad en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Los niños de entre 4 y 6 años enfrentan distintos retos en su aprendizaje, como la dificultad para mantener la atención o comprender conceptos abstractos, por lo que en esta etapa aprenden mejor cuando pueden manipular objetos y experimentar directamente con su entorno. En este sentido, la robótica educativa resulta útil para captar su interés y convertir el aprendizaje en una experiencia más práctica e interactiva, donde a través del juego y la exploración fortalecen la concentración, la memoria (Zemzami & Zbat, 2025) y la comprensión espacial, al mismo tiempo que desarrollan curiosidad y motivación por aprender (Barragán-Sánchez et al., 2023). Este enfoque prepara el camino para incorporar tecnologías más avanzadas como la IA y la RA que permiten crear entornos educativos más personalizados e inmersivos (Fridberg & Redfors, 2024; Teo, 2025).

El diseño e implementación de un robot educativo con IA y RA busca apoyar el aprendizaje científico y espacial de los niños de forma práctica y atractiva. Este tipo de herramienta permite que los estudiantes aprendan observando y experimentando con proyecciones en tres dimensiones sobre temas como los planetas o los ciclos naturales.

Planteamiento del problema

En la actualidad el modelo educativo STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) es fundamental en el desarrollo de competencias científicas y espaciales desde la primaria, algunos conceptos como astronomía, fenómenos físicos o temas espaciales resultan llamativos para los niños de 4 a 6 años. En esta etapa de desarrollo cognitivo para el aprendizaje de los niños se necesita manipular objetos físicos e interactuar de forma visual con su entorno para asimilar la información compleja.

La robótica educativa y la RA a pesar de tener varios beneficios en la enseñanza a los niños se enfrentan al gran reto de integrar este tipo de tecnologías en los centros educativos, abarca una serie de complicaciones operativas y de enseñanza. Como indica la investigación de Merchán (2024) los principales obstáculos para el uso de la RA en la educación se muestran en la Tabla 1 de desafíos y obstáculos.

Tabla 1

Desafíos y obstáculos

Nro.	¿Cuáles son los desafíos y obstáculos asociados con la integración de la RA en instituciones educativas?	Respuestas recurrentes
1	Limitaciones técnicas y de infraestructura	13
2	Capacitación y habilidades	11
3	Contenido y desarrollo	10
4	Aspectos pedagógicos y de aprendizaje	17
5	Privacidad, seguridad y ética	10
6	Aceptación y adopción	12
7	Eficiencia y efectividad	10
8	Accesibilidad y equidad	14
9	Impacto en la motivación y el compromiso	8
10	Evaluación y medición del aprendizaje	8

Nota. Tomado de Revisión sistemática de la realidad aumentada en educación: oportunidades y desafíos en instituciones educativas por Merchán (2024).

Al realizar el análisis detallado de los resultados, da como resultado que el reto más grande no es el uso de la tecnología, sino como se aplica en las aulas con los niños, según destaca Merchán (2024) los aspectos pedagógicos y de aprendizaje es el mayor obstáculo que se repite con frecuencia, esto quiere decir que las aplicaciones existentes o dispositivos actuales no se adecuan a los objetivos de enseñanza que requiere un niño pequeño; esto quiere decir que se puede crear tecnología avanzada pero no tiene un enfoque pedagógico y esto representa uno de los mayores problemas para la adaptación de la RA en instituciones educativas.

Este panorama general no resulta lejano a nuestra realidad en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, si se realiza un análisis de los entornos de desarrollo infantil enfocado a los niños de 4 a 6 años se observa una carencia directa de los recursos didácticos físicos y digitales. En la actualidad las alternativas de estas tecnologías presentan limitaciones para los niños: al darles un juguete con forma de robot ellos interactúan de forma táctil pero no logran visualizar o aprender conceptos espaciales, por otro lado, si se les da una tablet con alguna aplicación relacionado de conceptos espaciales se logra un entorno visual, pero se anula el desarrollo de la motricidad ya que no manipulan elementos reales.

Justificación e Importancia

El proceso de aprendizaje durante los primeros años de vida es de vital importancia para que los niños sepan asimilar el mundo que los rodea mediante el entendimiento de los conceptos abstractos, como son los elementos del espacio o la astronomía. Para la implementación de los recursos que sean capaces de unir la manipulación física con el estímulo visual en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, son necesarias las herramientas tecnológicas adecuadas para que, una vez que se introduzca la RA o la robótica educativa no se vuelva un proceso repetitivo, sino más bien un proceso que logre captar la atención de los niños de forma natural y tenga efectos positivos en su desarrollo.

El desarrollo de un robot educativo con RA junto a otro complemento como lo es la IA se presenta como una alternativa a la enseñanza tradicional, este proyecto propone crear un entorno de aprendizaje donde los niños tienen la posibilidad de interactuar con el robot de manera física mientras visualizan escenarios espaciales inmersivos a través de sus componentes. Al tener un tema como el espacio se propone transformar la experiencia en algo multisensorial para superar los principales desafíos que tengan los niños, de esta forma el robot no solo facilita el aprendizaje de los contenidos, sino que despierta la curiosidad por aprender sobre más temas y conceptos relacionados del espacio.

La implementación de este robot representa un aporte de gran valor para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ya que le permitirá consolidarse en una posición pionera respecto al diseño de robótica educativa para infantes de 4 a 6 años. A nivel interno, entregará a los docentes un material didáctico innovador que podrán adoptar directamente en los talleres infantiles. El diseño del prototipo cuenta con el potencial de ser replicado por otras instituciones contribuyendo de manera muy positiva a transformar cómo la primera infancia descubre la ciencia y la tecnología en el país.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un robot educativo con realidad aumentada para el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio del arte para el diseño y construcción del robot para el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.
- Diseñar el sistema mecánico, electrónico y de control del robot para fomentar el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.
- Desarrollar la interfaz gráfica en la que se muestren las actividades interactivas que fomentarán el aprendizaje científico y espacial con experiencias inmersivas.

- Implementar los sistemas diseñados para el funcionamiento del prototipo.
- Realizar la validación y pruebas de funcionamiento del prototipo desarrollado.

Alcance del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar un robot educativo e interactivo que integre inteligencia artificial y una interfaz visual basada en realidad aumentada, con el fin de fortalecer el aprendizaje científico en niños. El prototipo del robot contará con un sistema de visualización doble, por un lado se presentará representaciones interactivas de planetas, constelaciones y fenómenos naturales espaciales en una pantalla táctil donde el docente podrá explorar contenidos y realizar actividades guiadas en coordinación con el robot. Por otro lado, se incorporará un sistema de proyección que mostrará una parte de la galaxia directamente en el entorno físico así generando una experiencia inmersiva que integre la interacción digital de la pantalla táctil con elementos visuales proyectados en el espacio real.

La combinación de la interacción táctil con la visualización física permitirá mejorar la comprensión espacial, fomentar la curiosidad científica y motivar a los estudiantes en el aprendizaje de conceptos astronómicos. El proyecto se llevará a cabo en varias etapas:

Investigación y diseño conceptual:

- Análisis detallado de requisitos y limitaciones para la implementación del robot educativo con IA y RA.
- Investigación de técnicas y recursos para la integración de inteligencia artificial en entornos educativos.
- Investigación de herramientas, frameworks y tecnologías para el desarrollo de aplicaciones inmersivas y actividades educativas basadas en realidad aumentada.
- Diseño conceptual del robot basado.

Diseño mecánico:

- Diseño de la estructura física del robot.
- Definición y modelado de sus partes fijas y móviles
- Selección del material para la estructura física del robot.
- Análisis de movimiento de las partes móviles del robot.

Diseño electrónico:

- Selección y adquisición de componentes electrónicos para el robot, sensores, actuadores, tarjeta de control y sistema de alimentación.
- Diseño de los circuitos electrónicos para la conexión de los componentes electrónicos.

Desarrollo de software:

- Diseño de la interfaz gráfica de usuario.
- Desarrollo de la aplicación de realidad aumentada.
- Implementación del módulo de inteligencia artificial.
- Desarrollo de la programación del sistema de control y comunicación de los componentes del robot.

Implementación del prototipo:

- Selección y adquisición de componentes necesarios para la construcción del prototipo.
- Fabricación y ensamblaje de la estructura física del robot
- Integración de los componentes electrónicos
- Instalación e integración del software de control, inteligencia artificial y realidad aumentada

Pruebas y ajustes:

- Realización de pruebas de los subsistemas mecánico, electrónico, software y de control.
- Ejecución de pruebas de integración, evaluando la interoperabilidad entre los subsistemas del robot, asegurando la correcta sincronización entre movimiento, visualización RA y retroalimentación del sistema de IA
- Identificación de fallos y correcciones.

Documentación y presentación:

- Elaboración de un informe final que documente todo el proceso, desde el diseño inicial hasta las pruebas finales.
- Incorporación de planos técnicos y esquemas.
- Elaboración de manuales de uso y mantenimiento.

Limitaciones del proyecto:

- El enfoque principal del proyecto es el diseño y construcción de un prototipo robótico interactivo como herramienta para el aprendizaje científico y espacial, y no para reemplazar al docente.
- El prototipo contará con movimientos básicos y gestos simples para captar la atención del niño, así como con una pantalla táctil donde se presentarán actividades interactivas relacionadas con planetas, constelaciones y fenómenos espaciales. Además, se acoplará un sistema de proyección que mostrará una parte de la galaxia en el entorno físico, generando un efecto inmersivo que complementa la interacción digital, pero limitado a un área reducida y a elementos seleccionados del espacio.

Capítulo 2: Estado del arte

En el capítulo 2 se presenta el estado del arte la cual está relacionado con la robótica educativa, la RA y en como su aplicación permite una mejora en el aprendizaje y comprensión de las ciencias y la astronomía empleando tecnologías inmersivas e interactivas. Asimismo, en la Tabla 2 se presenta la recopilación de los artículos analizados para el desarrollo del estado del arte.

Robótica educativa en la Enseñanza, aprendizaje y comprensión de las ciencias.

La eficiencia de la robótica educativa es notable, en el artículo de Merino et al. (2018) se realiza un estudio, en el cual se comparan entre 2 grupos aplicando metodología tradicional y la experimental basada en robots, también se usaron cuatro dimensiones que se sirven para medir la mejoraría de los estudiantes, evidenciando que el grupo que usó un asistente tecnológico obtuvieron mejores resultados al resolver tareas complejas, estos resultados se alinean con la de otros investigadores.

En la enseñanza de la robótica educativa en la escolaridad, el trabajo realizado por Ulloa Flores (2019) propone que el robot despierta el interés de los niños al contar con un asistente de estudio, el cual es capaz de producir estímulos visuales y auditivos que favorecen el aprendizaje sobre las ciencias sociales, lo que vuelve más llamativa la educación. El proyecto realizado sirve para la enseñanza y el aprendizaje; el cual tuvo impacto en niños de entre los 7 y los 11 años que interactuaron con el robot.

Hoy en día el uso de las nuevas tecnologías generan interés en la escolaridad, por la cual, para analizar el impacto de la robótica en la educación, el trabajo realizado por González et al. (2021) en el estudio realizado destaca en cómo la robótica se ha convertido en unos de los pilares de la educación tecnológica, debido a que fortalece competencias tales como la comunicación, la creatividad y la resolución de problemas; además los mejores resultados suceden en los niveles de primaria y secundaria.

El trabajo realizado por Pérez & Mendoza (2021) propone un modelo curricular en espiral, el cual está determinado por cuatro niveles para la integración de la robótica en la educación. En este tipo de modelo, se busca que el aprendizaje sea integrado y significativo, de tal manera que desarrolle en los estudiantes pensamiento crítico racional y analítico, debido a que la robótica en pleno siglo XXI, en su mayoría aun es considerada como una actividad extraescolar.

A medida que las tecnologías mejoran en el contexto educativo, existen necesidades que permitan el desarrollo de habilidades. En el estudio realizado por Manera (2020) presenta el enfoque Reggio Emilia, el cual integra la robótica educativa; se sustenta que esto debe ser considerado no como una materia sino como un entorno, el cual permita a los niños tener un aprendizaje lúdico.

Es necesario seguir abordando los desafíos que presenta la robótica como herramienta educativa, en la cual según Cárdenas et al. (2023) menciona que las principales adversidades para lograr una mejoría en la educación es el manejo técnico de los robots, el tiempo de autonomía, la durabilidad de los equipos y la capacitación de los docentes, dado que es el que actúa como guía en el transcurso del aprendizaje de los niños.

De acuerdo al trabajo realizado por Gallego Joya (2024) propone como metodología el aprendizaje basado en proyectos (ABP), estableciendo como eje pedagógico central en la primaria y secundaria, en la cual los estudiantes desarrollen habilidades, las cuales les permita potenciar el pensamiento crítico, de tal manera logren una mejor interpretación de conceptos abstractos de física y matemática; además esto les permite abordar de mejor manera problemas del mundo real y fomentar la aplicabilidad de los conocimientos aprendidos. Además, López Martín (2024) sustenta que la robótica educativa en el nivel infantil permite a los estudiantes comprender el mundo, debido a que pasan de ser consumidores pasivos de tecnología a creadores activos.

Para respaldar esta consolidación de la tecnología en edades tempranas, el trabajo de investigación elaborado por Rojas et al. (2025) demuestra que la implementación de la robótica en la educación primaria ha dejado de ser un experimento a convertirse en una estrategia a nivel global. El estudio habla sobre las principales investigaciones a nivel mundial donde se confirma que los robots facilitan la transición de conceptos abstractos a conocimientos que sean fáciles de recordar, así que acostumbrar a los niños a estas herramientas desde sus primeros años no solo hace que se impulse el entendimiento de las ciencias, sino que se empiece a establecer las bases del pensamiento lógico a largo plazo, obteniendo numerosos beneficios en comparación con los métodos de enseñanza tradicional.

La tecnología avanzada en la educación es una estrategia efectiva para motivar a los estudiantes y actúa como una herramienta inclusiva para alumnos hacia las áreas relacionadas con las ciencias, en el trabajo realizado por Solís et al. (2025) se realiza un estudio del arte en la que destaca que existe una variedad de robots con capacidades de adaptación y uso en la educación tanto para los más pequeños de primaria como para los universitarios y que la mejor elección dependerá de las necesidades del usuario además de haber considerado las limitaciones del robot.

La eficacia de la robótica educativa en el artículo realizado por Trapero González et al. (2025) refuerza y enfatiza la idea de que la educación infantil el aprendizaje es más profundo cuando existe una interacción con el robot ya que mejora no solo la competencia tecnológica, sino que mejora habilidades matemáticas y científicas y para lograr dichos resultados los más efectivos son aquellos que combinan el juego con retos guiados.

Robótica educativa en el desarrollo del pensamiento computacional

El artículo realizado por da Silva & González (2017) enfatiza en que la robótica debe tratarse mediante la metodología ABP en la cual permite a los niños de manera propia construir sus experiencias de aprendizaje con significado realizando las actividades a manera de juegos dado que adquieran conocimientos de manera natural y motivadora, se debe agregar que de manera implícita existen mejoras en el aprendizaje debido a esto desarrollan un pensamiento computacional la cual involucra a la ingeniería con la creatividad desde las etapas iniciales de escolarización.

Torres et al. (2018) en su trabajo propone que programar un robot en un entorno infantil no solo enseña, sino que generan en los niños las bases lógicas del pensamiento computacional esto se debe a que la robótica educativa sirve como puente además considera los aspectos que influye en el proceso de enseñanza y aprendizaje por lo cual hace uso de la metodología de aula basa en la experimentación, manipulación y observación (EMO) para obtener mejores resultados.

En el estudio realizado por Esteve Mon et al. (2019) destaca los resultados obtenido de la robótica educativa para mejorar el pensamiento computacional de estudiantes de magisterio, describe que el uso de robots educativos durante la formación universitaria permite al docente incluir experiencias prácticas lo que favorece a aumentar la confianza y la competencia digital de los futuros educadores, subraya que si los docentes comprenden la lógica computacional tienden a ser más capaces de crear actividades creativas y transversales para sus futuros alumnos, y no quedan limitados a solo seguir un manual de instrucciones de las tecnologías.

Gerosa et al. (2019) evalúa el impacto de la robótica mediante un aprendizaje lúdico, esta investigación utiliza un robot capaz de reaccionar a colores y distancias a diferencias los clásicos que solo son controlados por una botonera lo que permite que los niños interactúen con objetos cotidianos para programar movimientos o detectar colores, esto presenta mejoras en lo que es el pensamiento computacional e inteligencia fluida.

Latorre et al. (2022) expone los resultados obtenidos en la iniciativa pedagógica de la implementación del proyecto Roboeducat en la cual la robótica educativa es el eje principal para las enseñanzas sobre el contenido relacionado con las áreas STEM como la biología, la física y la astronomía además el estudiante se relaciona e interactúa con el robot comenzando con la programación el cual le permite de manera implícita desarrollar un pensamiento computacional y este a su vez le permita entender conceptos básicos de las ciencias se reflejan mediante el robot.

Es necesario seguir realizando investigación de las metodologías a implementar para la robótica educativa principalmente orientadas a mejorar el pensamiento computacional, en el artículo de Pérez-Suay et al. (2023) evalúa de manera empírica una secuencia didáctica en el cual el éxito del aprendizaje está relacionado con una estructura pedagógica bien elaborada que consiste en ir de retos simples a retos complejos aportando con datos positivos significativos en las que existe una mejora de las capacidades de resolución de problemas.

La realidad aumentada como recurso pedagógico.

La integración de tecnologías visuales en las metodologías de enseñanza ha marcado un antes y un después, en el trabajo de Becerra Amaya (2023) se diseña una aplicación basada en RA para la enseñanza de inventos tecnológicos; su objetivo es demostrar como esta herramienta transforma el entorno de aprendizaje, dando como resultado que su uso permite a los estudiantes lograr un mejor desempeño al asimilar conocimientos complejos. De manera complementaria Santos (2016) analiza en su estudio el uso de la RA en el desarrollo de software educativo aplicado a conceptos de astronomía, en sus resultados se destaca la enseñanza tradicional en juegos de simulación con RA facilita enormemente la comprensión de conceptos abstractos.

En etapas tempranas de desarrollo de una persona el impacto de la RA es notable ya que el componente visual es fundamental, es por eso que en el artículo de Meléndez et al.

(2025) centran su investigación en el uso de la RA durante los primeros años de educación, mediante la literatura tienen como objetivo identificar cómo se desenvuelven los niños con estas herramientas. Obteniendo múltiples beneficios en el proceso de enseñanza y aprendizaje, estimulando la asimilación visual de los niños, esto se alinea con el proyecto de Pérez-Lisboa et al. (2020) quienes analizan el uso de simuladores para enseñar astronomía a niños de cinco años. Como resultado, concluyen que estas tecnologías son estrategias pedagógicas clave para generar un alto nivel de curiosidad e interés en el ámbito educativo desde edades muy tempranas.

La RA demuestra ser un excelente puente visual para otras disciplinas interactivas en el aula, en el trabajo de Pasalidou et al. (2022) exploran la programación en robótica educativa utilizando la RA, su objetivo es medir la respuesta de los alumnos ante la integración visual y física. Dando resultados positivos de como adaptar la programación a través de la RA aumenta el interés y participación de los estudiantes frente a los métodos tradicionales.

Combinación de inteligencia artificial y la realidad aumentada en la educación.

La educación actual se encuentra en un proceso de transformación a la Educación 4.0, en el trabajo de Villacrés et al. (2024) se analiza cómo la IA y la RA impulsan las herramientas que transforman la enseñanza tradicional. Dando resultados de que la integración de ambas es esencial para preparar a los estudiantes ante los retos de las nuevas tecnologías.

En el trabajo realizado por Benítez (2025) detalla que la RA y la IA como el “dúo dinámico”, ya que la RA se encarga de ofrecer la experiencia visual e inmersiva al usuario, mientras que la IA tiene la capacidad de personalizar el contenido en tiempo real. Con esta unión se crea un aprendizaje adaptativo con la capacidad de predecir y satisfacer las necesidades del alumno en ese momento. Además, en el trabajo de Lampropoulos (2025) tiene como objetivo explorar la combinación de ambas tecnologías para mejorar los resultados en la

creación de tutores virtuales que se adaptan siguiendo el ritmo del estudiante, así mejorando notablemente el aprendizaje interactivo con su entorno, su rendimiento y la motivación.

El avance de estas tecnologías ha dado paso a herramientas más complejas, en el trabajo de Rissone & Arruabarrena (2024) analizan la innovación educativa y señalan que el uso de asistentes de IA como ChatGPT ha revolucionado la enseñanza al permitir la personalización del aprendizaje, en los resultados que obtuvieron afirman que estas herramientas facilitan la comprensión de conceptos complejos. Esto se complementa con el trabajo de Quiroz Cárdenas & Alcivar Cevallos, (2025) quienes mediante una revisión sistemática evidenciaron que la aplicación de la IA generativa y la RA transforma la educación al crear entornos inmersivos para los estudiantes motivándolos a tener una participación más proactiva.

El uso de estas herramientas tecnológicas impacta directamente en la actitud del alumno frente al estudio, es por eso que Soriano & Jiménez (2023) destaca en su artículo que la integración de la RA debe ser usado como recurso pedagógico que impulse la motivación de los estudiantes frente al modelo tradicional ya conocido de aprendizaje, se debe convertir en una experiencia interactiva para que este eleve el rendimiento académico. En su artículo Lancheros et al. (2025) enfoca su investigación en como la integración tecnológica desarrolla el pensamiento crítico mediante la resolución de problemas, concluyendo que medir con exactitud este impacto en el aprendizaje es el gran desafío actual para los investigadores.

La revisión sistemática sobre la IA y la RA en la educación superior como habla Marín-Rodriguez et al. (2023) reafirman que a pesar de que se mejora la comprensión y el aprendizaje activo el sistema educativo se enfrenta a problemas importantes, se establece la falta de capacitación a los docentes como principal limitación que debe superarse para que esta integración tecnológica sea un éxito en el futuro.

Tabla 2*Resumen de trabajos realizados.*

Autor(es)	Año	Título del trabajo	Principales hallazgos
Pasalidou, C., & Fachantidis, N.	2022	Contextualizing Educational Robotics Programming with Augmented Reality	La integración de la RA para adaptar la programación de robótica aumenta el interés y la participación activa de los estudiantes frente a los métodos tradicionales.
Merino A., J. M., Villena T., R., González C., S. J. A., & Cózar G., R.	2018	Análisis del efecto de la robótica en la motivación de estudiantes de tercero de Educación Primaria durante la resolución de tareas de interpretación de planos.	El uso de la robótica educativa durante la resolución de tareas genera una motivación significativamente superior en comparación con lo tradicional, destacando un aumento drástico en la categoría de satisfacción de los estudiantes que interactuaron con robots.
Ulloa F., B. P.	2019	Diseño, desarrollo y construcción de un robot educativo y un micro mundo lúdico interactivo para el rescate de valores culturales de los pueblos andinos	Hace uso de una interfaz web para el control remoto lo que permite que sea más interactiva respecto al contenido educativo almacenado en su base de datos.
Coronel C., R. X., Vásquez Y., S. A., & Granda R., J.	2023	La robótica como herramienta educativa	Estrategias por las cuales es viable implementar la robótica educativa
Pérez L., S., Ríos B., C.G., & Castillo A., J.	2020	Realidad Aumentada y simuladores: astronomía para niños y niñas de cinco años	La RA y los simuladores son estrategias clave para generar curiosidad e interés en el ámbito educativo.
González F., M. O., González F., Y. A., & Muñoz L., C.	2021	Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM	Destaca la influencia positiva que tiene la robótica educativa en la educación y en como esto fortalece las competencias de los estudiantes de distintos niveles.
Latorre, I. N., & Casals E., M.	2022	Proyecto ROBOEDUCAT: Creación y aplicación de actividades STEM a partir del uso de robots Sphero y Ozobot	Propone que el estudiante se relacione e interactúe con el robot mediante la programación de bloques en el cual se establezca como el robot interpretaría dicha programación en movimientos de algún planeta escogido y estudiado previamente.

Autor(es)	Año	Título del trabajo	Principales hallazgos
Gallego J., L.	2024	Semillero de investigación en ciencia y tecnología Moraba	El uso de simuladores facilita la explicación de conceptos complejos y aumentan el nivel de comprensión de los estudiantes.
Pérez S., A., García B., I., Van V., S., & Pascual V. A. B.	2023	Assessing a Didactic Sequence for Computational Thinking Development in Early Education Using Educational Robots	Influencia de los robots educativos programables para promover habilidades de pensamiento computacional en la educación temprana.
Torres, N. B., González, R. L., & Carvalho, J. L.	2018	Roamer, un robot en el aula de Educación Infantil para el desarrollo de nociones espaciales básicas	Mejora de conceptos espaciales básicas en educación infantil con robótica educativa involucrando implícitamente la iniciativa del pensamiento computacional.
Pérez A., G. X., & Mendoza M., M. A.	2020	Robótica educativa: propuesta curricular para Colombia	Modelo curricular en espiral con cuatro niveles de complejidad en la que se busca formalizar la robótica como un eje interdisciplinar activo
Santos, M. A. I. dos.	2016	El uso de la realidad aumentada en el desarrollo de software educativo: un ejemplo en algunos conceptos de astronomía	La enseñanza de astronomía mediante la RA transformándolos a juegos de simulación facilita la comprensión de conceptos
Becerra A., O. E.	2023	Diseño de una aplicación basada en Realidad Aumentada para la enseñanza de inventos tecnológicos mecanizados del siglo XXI a estudiantes de grado 8° de la I.E.I.V.	Implementar el uso de la RA permítete un mejor desempeño de conocimientos complejos.
Meléndez A., N., & Velásquez E., B. N.	2025	Uso de la Realidad Aumentada en primeros años de educación: Una mirada desde la literatura	Beneficios de la RA en el proceso de enseñanza y aprendizaje.
López M., E. C.	2024	Robótica educativa en edades tempranas	Propuestas didácticas para trabajar y mejorar el nivel computacional a tempranas edades.

Autor(es)	Año	Título del trabajo	Principales hallazgos
Solís O., R., Calderón A., C., Brenes T., J. C., Chavez M., C., Luna M., K., & Calderón G., J. P.	2024	Robótica educativa: Un estudio del estado del arte	Destaca diversas plataformas, tamaños y capacidades de los robots educativos para cubrir las necesidades educativas.
da Silva F., M. G., & González G., C. S.	2017	PequeBot: Propuesta de un Sistema Ludificado de Robótica Educativa para la Educación Infantil	Las herramientas de aprendizaje en educación infantil mediante la robótica deben ser basadas en juegos.
Rojas, E. M., Valencia A., A., Coronado, M. H. V., Gamarra, J. M. B., Agudelo C., E., Benjumea A., M. L., & Mori, L. V.	2025	Educational robotics for primary education: An analysis of research trends	Se evidencia el crecimiento exponencial en la investigación sobre robótica educativa en primaria, liderado por España y EE. UU. Se muestra una evolución hacia la integración de enfoques STEM con la programación por bloques para fomentar el desarrollo cognitivo e innovación en el aula.
Trapero G., I., Romero R., J. M., Fernandez, F., & Alonso G., S.	2025	Educational robotics and STEM competence in early childhood education: Systematic review and meta-analysis of programmes and outcomes	El uso del Bee-Bot confirma que mejora de forma significativa el desarrollo de competencias STEM en la educación infantil temprana, promoviendo un desarrollo integral y proporcionando una educación más activa y estimulante para los niños.
Manera L.	2020	STEAM and Educational Robotics: Interdisciplinary Approaches to Robotics in Early Childhood and Primary Education	Enseñar robótica STEAM en la primera infancia mediante la exploración libre y sin instrucciones difíciles desarrolla eficazmente el pensamiento crítico y ayuda a reducir el miedo a las nuevas tecnologías.
Esteve M., F. M., Adell S., J., Llopis N., M. Á., Novella, G. V., & Aparicio, J. P.	2019	The Development of Computational Thinking in Student Teachers through an Intervention with Educational Robotics	La capacitación a los futuros docentes utilizando robótica educativa es una estrategia muy efectiva para desarrollar el pensamiento computacional y mejorar habilidades tecnológicas.
Gerosa, A., Koleszar, V., Gómez S., L. F., Tejera, G., & Carboni, A.	2019	Educational Robotics and Computational Thinking Development in Preschool	Los niños programan movimientos interactuando físicamente con objetos y colores de su entorno lo que permite estimular y desarrollar habilidades cognitivas.

Autor(es)	Año	Título del trabajo	Principales hallazgos
Marín R., W. J., Andrade G., D. C., Zúñiga R., M., Susanibar R., E. T., Calvo R., I. P., Ausejo S., J. L., & Caro S., F. G.	2023	Artificial Intelligence and Augmented Reality in Higher Education: a systematic review	La integración de la RA y la IA en la educación superior mejora la comprensión y el aprendizaje activo, pero existen limitaciones como la capacitación a los docentes.
Villacrés, G. E. F., Sánchez, W. Y. M., López, J. F. V., Naranjo, F. P. B., & López, R. R. L.	2024	Realidad aumentada, inteligencia artificial, educación 4.0 y enseñanza	La IA y la RA impulsan la educación 4.0 transformando radicalmente la enseñanza. Su integración crea entornos inmersivos y adaptativos que son esenciales para preparar a los estudiantes.
Lampropoulos, G.	2025	Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives	La combinación de la IA con la RA crea tutores virtuales que se adaptan al alumno, mejorando el aprendizaje interactivo, el rendimiento y su motivación.
Lancheros B., W. F., & Vesga B., G. J.	2025	Desarrollo del pensamiento crítico con IA, RA Y RV: una revisión sistemática	La integración de la IA, la RA y la realidad virtual (RV), desarrolla el pensamiento crítico mediante la resolución de problemas.
Soriano, J., & Jiménez, D.	2023	The advantages of using augmented reality as a pedagogical teaching resource	Integrar la RA en cualquier nivel educativo mejora el rendimiento académico y dispara la motivación en transformar el aprendizaje tradicional en una experiencia interactiva.
Quiroz C., D. R., & Alcivar C., R. A.	2025	La aplicación de la inteligencia artificial generativa y realidad aumentada en la educación: una revisión sistemática de literatura	La combinación de la IA generativa y la RA transforma la educación secundaria al crear entornos inmersivos que potencian drásticamente la participación activa y la motivación de los estudiantes.
Rissone, K. A., & Arruabarrena, V. M.	2024	Educational innovation with artificial intelligence and augmented reality	El uso de asistentes como ChatGPT ha revolucionado la enseñanza al permitir la personalización del aprendizaje, estas herramientas facilitan la comprensión de conceptos complejos preparando a los alumnos para los retos de los siguientes años.

Autor(es)	Año	Título del trabajo	Principales hallazgos
Benítez B., A. C.	2025	Realidad aumentada e IA: el nuevo dúo dinámico para potenciar experiencias inmersivas de aprendizaje	La IA y la RA forman un dúo dinámico donde la RA ofrece la experiencia inmersiva y la IA personaliza el contenido en tiempo real. Esta unión crea un aprendizaje adaptativo que predice y satisface las necesidades del alumno al instante.

Nota. Elaboración propia

Capítulo 3: Diseño e Implementación

En el capítulo 3 se realiza el diseño e implementación del robot para fines educativos, desde su diseño conceptual hasta la construcción física.

Diseño conceptual

Para la implementación del robot se busca satisfacer una necesidad pedagógica y técnica que sirva de apoyo a los educadores. Un aspecto importante es que el diseño se rige bajo la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN-EN 71-1, la cual establece los requisitos de seguridad en cuanto a propiedades mecánicas y físicas (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013). Esta norma garantiza que el robot sea seguro para la manipulación de estudiantes y docentes al exigir superficies redondeadas y ausencia de puntos de corte.

Las necesidades específicas se describen en la Tabla 3, permitiendo entender de mejor manera cuáles son algunos de los requerimientos que debe tener el robot.

Tabla 3

Requerimientos del robot.

Requerimientos	Interpretación
El producto robótico debe presentar un diseño estético atractivo.	La apariencia del robot debe ser llamativo y amigable de tal manera que genera un entorno de confianza y seguridad.
El diseño del robot debe presentar una arquitectura modular.	Las secciones como la mecánica, electrónica y software son independientes, permite un fácil mantenimiento.
Seguridad de uso al interactuar con docentes y estudiantes.	El modelo físico no debe presentar bordes filosos, se deben evitar movimientos bruscos, debe tener cables protegidos y debe emplear materiales resistentes.
Estabilidad estructural y robustez	El robot debe tener un tamaño y peso moderado, debe presentar un diseño robusto que evite que sea dañado mientras se manipula.
El producto robótico debe tener partes móviles	El robot debe mover los brazos para hacerlo más llamativo e interesante.

Requerimientos	Interpretación
Debe presentar un tiempo de autonomía energética.	La batería de alimentación energética del robot debe presentar autonomía para que no esté limitado a estar solo conectado a la red eléctrica.
El producto robótico debe tener una visualización grafica adecuada para una mejor interacción.	Se debe considerar un tamaño de pantalla adecuado además debe tener una interfaz gráfica manipulable la cual sea fácil de entender y presenta juegos para mayor interacción.
Integración de inteligencia artificial IA	La IA debe actuar como un guía pedagógico proporcionando explicaciones y retroalimentación mediante interacción por voz.
Integración de RA	El robot debe presentar modelos visuales, animaciones sobre los temas tratados.
El producto robótico debe ser de costo moderado	El costo de elaboración del producto robótico debe ser moderado sin comprometer la calidad.

Nota. Elaboración propia

Para empezar con la organización de las necesidades se emplea la matriz QFD, obsérvese la

Figura **1** en la cual se determina el orden en base al nivel de aprobación, permite a su vez estudiar la relación entre la necesidad del usuario y los parámetros técnicos medibles a controlar.

En la Tabla 4 se ordena de mayor a menor el nivel de porcentaje de aprobación acorde a los requerimientos presentados.

Tabla 4

Características técnicas ordenadas en orden descendente de acuerdo con el porcentaje de aprobación obtenido de la matriz QFD.

Requerimientos	% de Aprobación
Tarjeta de control adecuada	17,4%
Dimensiones y estructura	15,2%
Número de actividades programadas	11,4%
Tamaño y resolución de pantalla	11,2%
Grados de libertad	8,7%
Modularidad de componentes	8,5%
Acabado superficial	7,7%
Precisión de reconocimiento de voz	7,0%
Peso	6,5%
Capacidad de batería	6,5%

Nota. Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se determinarán los módulos de diseño más importantes en base a las características técnicas, para lograr satisfacer los requerimientos se realiza una comparativa de productos tal y como se observa en los siguientes apartados las cuales describen los diferentes módulos y submódulos considerados para el estudio, además se escoge la opción más viable y favorable.

Tabla 5

Módulo 1 (Visualización gráfica)

Opciones	Costo	Nivel de interacción	Tamaño	Orden de selección
Pantalla LCD táctil	Alto	Alto	Mediano	1
Pantalla LCD no táctil	Bajo	Bajo	Mediano	3
Proyector táctil	Alto	Alto	Grande	2
Proyector no táctil	Alto	Bajo	Grande	4

*Nota. Elaboración propia***Tabla 6**

Submódulo 1 (Pantalla)

Opciones	Costo	Tamaño	Parlantes	Compatibilidad	Ubicación de puertos	Orden de selección
Pantalla LCD IPS táctil	\$85	9 “	Si	Alta - Conexión por HDMI y USB para el táctil.	Laterales	1
Pantalla TFT estándar	\$50	9”	No	Baja - Se conecta directo a los pines GPIO de la placa base.	Directo en la placa	4
Monitor con case	\$120	9”	Si	Alta - HDMI / Tipo C estándar.	Posteriores	3
Monitor LCD	\$65	9”	No	Media - HDMI / VGA	Inferiores	2

Nota. Elaboración propia

Tabla 7

Módulo 2 (Tarjeta de control)

Opciones	Costo	Velocidad de procesamiento	Memoria RAM	Disponibilidad conexión inalámbrica	Orden de selección
Microordenador (SBC)	Alto	Alto	Alta (Gigabytes)	Si	1
Microcontrolador básico	Bajo	Bajo	Muy baja (Kilobytes)	No	3
Microcontrolador avanzado	Medio	Medio	Baja (Megabytes)	Si	2
Placa FPGA	Muy alto	Muy alto	Media	No	4

*Nota. Elaboración propia***Tabla 8**

Submódulo 2 (Tarjeta de control)

Opciones	Costo	Velocidad de procesamiento	Memoria RAM	Disponibilidad conexión inalámbrica	Orden de selección
Raspberry Pi 5	\$160	Alta	8 Gb	Sí - Wi-Fi y Bluetooth nativo.	1
Orange Pi 5	\$130	Alta	8 Gb	No - Requiere módulo extra	3
Jetson Nano	\$220	Alta	4 Gb	No - Requiere adaptador extra.	2
Banana Pi M5	\$90	Media	4 Gb	No	4

Nota. Elaboración propia

Tabla 9

Módulo 3 (Material de impresión)

Opciones	Resistencia a impactos	Resistencia térmica	Facilidad de impresión	Emisión de gases-Toxicidad	Orden de selección
PETG	Alta	Alta- Hasta 80°C	Alta - No requiere cámara cerrada	Baja (Seguro)	1
PLA	Baja	Baja- Se deforma a los 60°C	Muy Alta	Baja (No tóxico)	3
ABS	Muy Alta	Muy Alta- Hasta 100°C	Baja - Sufre deformación	Alta (Gases tóxicos al imprimir)	2
TPU	Extrema	Media	Baja- Propenso a atascos	Baja	4

*Nota. Elaboración propia***Tabla 10**

Módulo 4 (Fuente de energía)

Opciones	Portabilidad	Precio	Utilidad (Ciclos de vida)	Autonomía	Orden de selección
Móvil (Batería de Litio 12V)	Alta - Ligera y compacta	\$85	Muy Alta -Hasta 4000 ciclos	8 a 10 h	1
Fija (Fuente cargador de Raspberry 5V)	Baja - Requiere cable conectado	\$30	Baja - No enciende motores ni pantalla grande.	Ilimitada	4
Móvil (Batería de Plomo-Ácido 12V - 7Ah)	Media - Demasiado pesada	\$45	Media - Aprox. 300 ciclos.	3 a 4 h	2
Fija (Fuente de alimentación 12V a pared)	Baja -Requiere cable conectado)	\$20	Alta - Útil solo para pruebas.	Ilimitada	3

Nota. Elaboración propia

Tabla 11

Módulo 5 (Motores)

Opciones	Precisión de posicionamiento	Facilidad de control	Costo	Torque (Fuerza)	Requisito de driver extra	Orden de selección
Servomotor	Alta -Control exacto por grados	Muy Fácil (Señal PWM)	\$15 - \$30	Alto (15 - 35 kg.cm)	No	2
Motor DC	Baja -Giro continuo, sin grados	Media (Requiere lógica)	\$10 - \$20	Alto (18 - 25 kg.cm)	Si	1
Motor Paso a Paso	Muy Alta - Milimétrica	Media (Requiere librerías)	\$20 - \$45	Medio (1.2 - 5 kg.cm)	Si	3
Motor AC	Baja -Giro continuo	Muy Difícil	Muy Alto	Muy Alto	Si	4

*Nota. Elaboración propia***Tabla 12**

Submódulo 3 (Servomotor para brazos)

Opciones	Precio	Fuerza	Voltaje	Rango de rotación	Orden de selección
MG996R	\$13	12 kg	5V	180°	1
HPS128	\$17	20 kg	6.6V	270°	2
DS3235SG	\$29	35 kg	7.4V	270°	3
SG90	\$5	1.5 kg	5V	180°	4

Nota. Elaboración propia

Tabla 13

Submódulo 4 (Motorreductores-robot móvil)

Opciones	Precio	Fuerza	Voltaje	Rango de rotación	Orden de selección
JGB37-520	\$15	5 kg.cm	12V	Continua (~100 RPM)	1
JGY370	\$12	10 kg.cm	12V	Continua (~60 RPM)	2
Pololu 37D	\$35	12 kg.cm	12V	Continua (~100 RPM)	3

*Nota. Elaboración propia***Tabla 14**

Módulo 6 (Proyector)

Opciones	Consumo de energía	Complejidad de instalación	Efecto visual	Orden de selección
Proyector de luz LED	Bajo	Baja	Dinámico / Atmosférico	1
Tira de LED RGB	Bajo	Media	Estático / Lineal	2
Lámpara Incandescente	Alto	Alta	Estático	3
Pantalla secundaria	Muy Alto	Muy Alta	Gráfico	4

Nota. Elaboración propia

Las matrices de comparación y selección analizadas previamente permiten dar solución a las necesidades del usuario; asimismo, facilitan el desarrollo de los conceptos de diseño del producto.

Conceptos

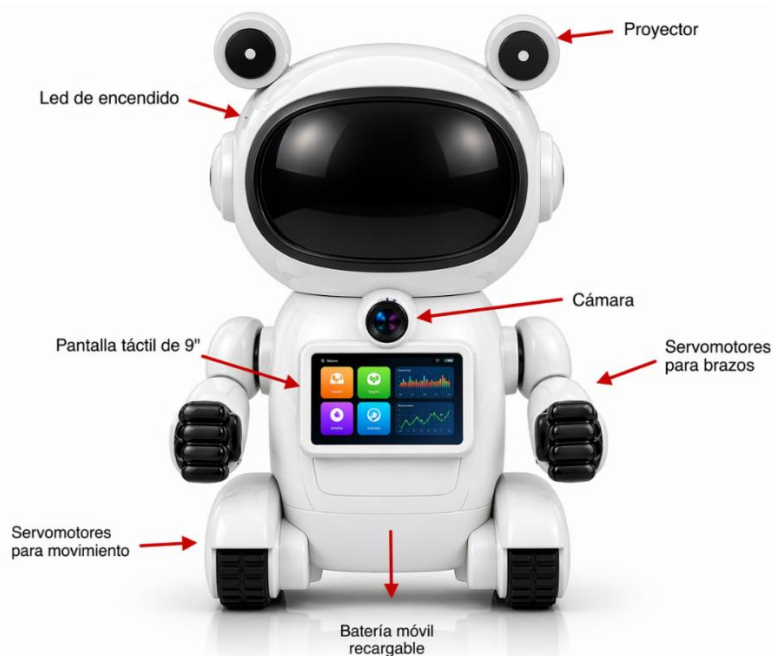
En esta sección se presentan los principales conceptos relacionados con el diseño y funcionamiento del robot educativo propuesto. Se describen los elementos electrónicos, estructurales y funcionales que puede tener el robot para su implementación.

Concepto 1

El robot usará una Raspberry como dispositivo de control, el cual es encargado del procesamiento de los datos de las aplicaciones, se mostrarán en una pantalla LCD de 9 pulgadas táctil para que se pueda interactuar en las diferentes actividades programadas. Se tendrá una cámara en la parte superior para actividades relacionadas con la RA, además en la cabeza se tendrá el proyector para las experiencias inmersivas con el usuario. Se contará con servomotores encargados del movimiento de brazos y los motores DC que están acopladas a unas ruedas para el movimiento del robot. El suministro de energía será mediante una batería móvil recargable para que pueda ser transportable a cualquier lugar sin necesidad de conexiones extras. A continuación, en la Figura 2 se visualiza el modelo propuesto correspondiente al planteamiento del primer concepto.

Figura 2

Concepto 1 del robot.



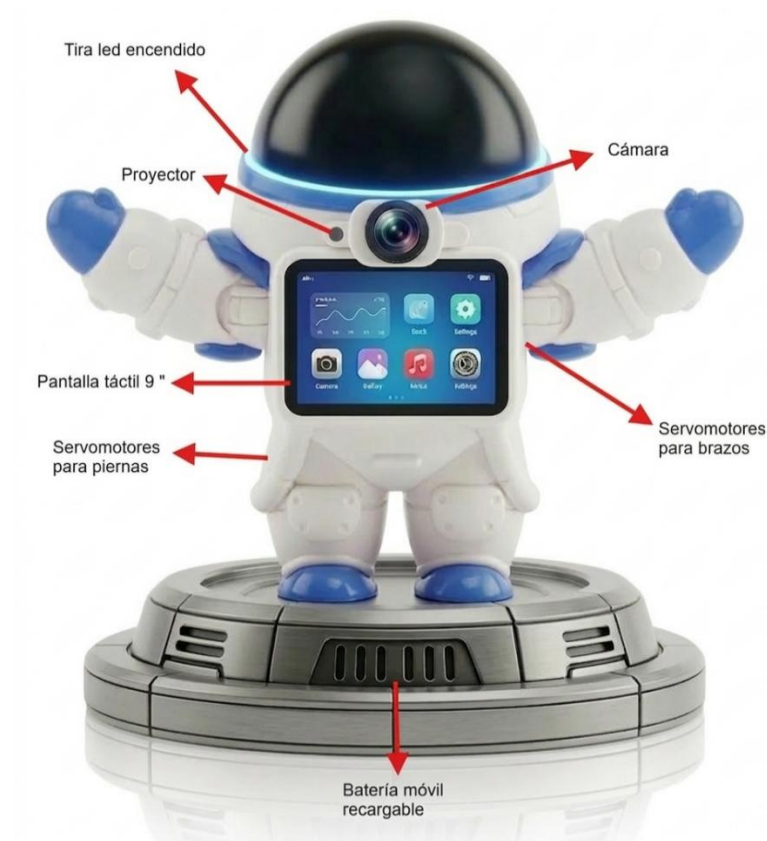
Nota. "Creado con Inteligencia Artificial"

Concepto 2

El robot usará una Raspberry como dispositivo de control, el cual es encargado del procesamiento de los datos de las aplicaciones, se mostrarán en una pantalla LCD de 9 pulgadas táctil para que se pueda interactuar en las diferentes actividades programadas. Se tendrá una cámara en la parte inferior de la cabeza junto al proyector, esto con la finalidad de compartir el rango visual para actividades relacionadas con la RA. Se contará con servomotores encargados del movimiento de brazos y piernas, se encuentra sobre una superficie que sirve para guardar el suministro de energía, que será mediante una batería móvil recargable para que pueda ser transportable a cualquier lugar sin necesidad de conexiones extras. A continuación, en la Figura 3 se visualiza el modelo propuesto correspondiente al planteamiento del segundo concepto.

Figura 3

Concepto 2 del robot.



Nota. "Creado con Inteligencia Artificial"

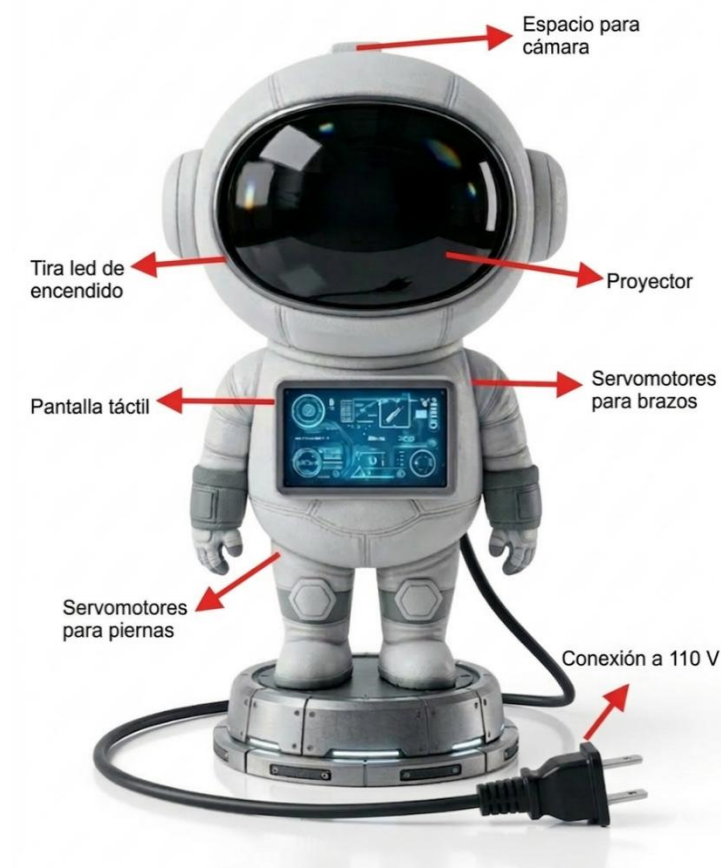
Concepto 3

El robot usará una Raspberry como dispositivo de control, el cual es encargado del procesamiento de los datos de las aplicaciones, se mostrarán en una pantalla LCD de 9 pulgadas táctil para que se pueda interactuar en las diferentes actividades programadas. Se tendrá una cámara en la parte superior de la cabeza en un compartimento para cualquier tipo de cámara, esto con la finalidad de intercambiar algún rato la cámara por una de mejor calidad para actividades relacionadas con la RA. Se contará con servomotores encargados del movimiento de brazos y piernas, se encuentra sobre una superficie simulando una nave espacial, el suministro de energía será mediante una conexión por cable a 110 V para alimentar

todos los componentes internos del robot. A continuación, en la Figura 4 se visualiza el modelo propuesto correspondiente al planteamiento del tercer concepto.

Figura 4

Concepto 3 del robot



Nota. "Creado con Inteligencia Artificial"

El sistema de calificación se lo detalla en la Tabla 15 donde se detalla los diferentes tipos de puntuaciones, En la selección del concepto se estableció los criterios en las que se basaría el concepto del producto robótico las cuales se evalúan en la Tabla 16.

Tabla 15*Matriz de calificaciones.*

Puntuación	Nivel de cumplimiento	Descripción del criterio
1	Muy bajo	No cumple con el criterio
2	Bajo	Cumple el criterio, pero con varias limitaciones y con elementos aislados.
3	Medio	Cumple, pero requiere mejoras
4	Bueno	Cumple de forma sólida con los requerimientos solicitados y tiene muy pocas limitaciones.
5	Excelente	Cumple con el criterio con una solución de alta calidad.

*Nota. Elaboración propia***Tabla 16***Matriz de selección de concepto.*

Criterios de selección	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Facilidad de manejo	3	3	3
Facilidad de fabricación y montaje	3	2	2
Transportabilidad	2	2	2
Costo	3	2	3
Autonomía energética	3	3	2
Diseño modular	3	2	2
Interactividad	4	3	4
Facilidad de Mantenimiento	3	3	3
Calidad de materiales	3	3	3
Diseño atractivo	5	3	4
Evaluación neta (máx. 50)	32	26	28
Porcentaje de calificación neta.	64%	52%	56%
Orden de selección de concepto	1	3	2

Nota. Elaboración propia

En los resultados obtenidos de la matriz de selección, el concepto 1 obtuvo el mayor nivel de calificación con un 64% de cumplimiento; de tal manera se procede con el respectivo desarrollo del robot.

Diseño mecánico

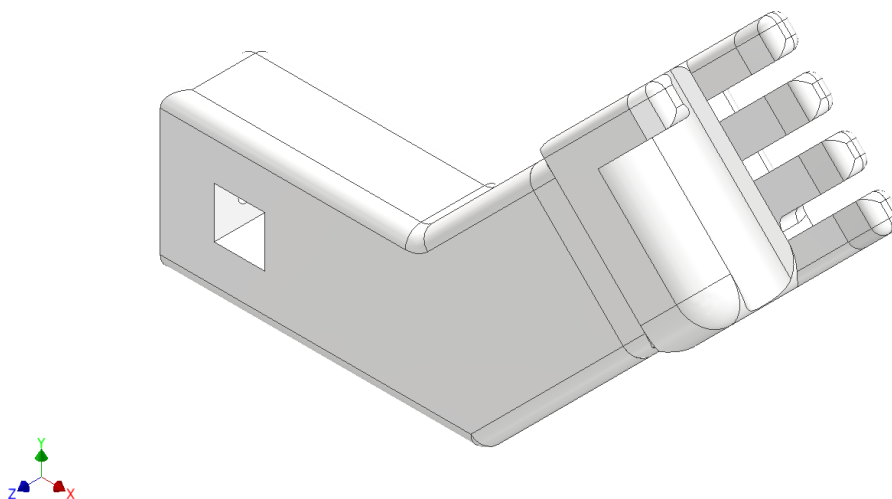
Los componentes físicos del robot serán diseñados en base al concepto seleccionado, el robot contará con subsistemas mecánicos para lograr el movimiento de su estructura y de brazos; también contará con un cuerpo donde se tendrá las dimensiones adecuadas para almacenar los componentes electrónicos. A continuación, se presenta los subsistemas mecánicos del robot.

Movimiento de brazos

Los brazos van a tener un peso aproximado de 0,213 kg cada uno y van a tener un grado de libertad para tener el movimiento de subir y bajar.

Figura 5

Modelo brazo robot modelado.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

Para los brazos se acoplan a un eje que está conectado al servomotor para generar el movimiento de subida y bajada.

Figura 6

Eje de acoplamiento para brazo del robot.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

Análisis estático del eje del brazo

Se realiza un análisis estático de esfuerzos en el eje del brazo del robot para comprobar que la pieza resiste las cargas a las que estará sometida utilizando un software CAD con el método de elementos finitos.

Propiedades del material

El eje fue diseñado para ser fabricado mediante impresión 3D con material PETG, las propiedades mecánicas del material dadas por el software se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17*Propiedades materiales PETG.*

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1260	kg / m^3
Módulo de Young	$1,5 \times 10^9$	Pa
Resistencia a la tracción	35×10^6	Pa
Coefficiente de Poisson	0,38	--

Nota. Elaboración propia

Para determinar las fuerzas aplicadas sobre el eje se utilizaron las propiedades físicas obtenidas del software CAD, el brazo armado tiene una masa de 0,213 kg con su centro de gravedad ubicado a 13,403 mm del punto de rotación. La masa del eje y el disco de acople es de 0.065 kg con su centro de gravedad a 19,50 mm. Con estos valores podemos obtener la fuerza gravitacional que actúa sobre cada componente mediante la ecuación:

$$F = m \times g \quad (1)$$

$$F_{brazo} = 2,089 \text{ N}$$

Donde $m = \text{masa}$ y $g = \text{gravedad}$, de igual manera se utiliza la ecuación (1) para realizar el cálculo de la fuerza para el eje con el disco de acople.

$$F_{eje \text{ con disco}} = 0,638 \text{ N}$$

El torque generado por cada componente respecto al punto de rotación del servomotor se calcula mediante la ecuación (1) y para el brazo armado se obtiene los siguientes resultados:

$$T = F \times d \quad (2)$$

$$T_{brazo} = 0,028 \text{ Nm}$$

Donde $F = \text{fuerza}$ y $d = \text{distancia entre la fuerza y el sistema referencial}$.

Utilizando la ecuación (2) para el eje y disco de acople se obtiene el torque que da como resultado lo siguiente:

$$T_{eje} = 0,012 \text{ Nm}$$

El torque total que debe soportar el eje es la suma de ambas contribuciones tal y como se observa en la ecuación (3):

$$T_{total} = T_{brazo} + T_{eje} \quad (3)$$

$$T_{total} = 0,040 \text{ Nm}$$

El servomotor seleccionado que es el MG996R entrega un torque máximo de $9,4 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$, lo que equivale a $0,922 \text{ N} \cdot \text{m}$ la cual mediante la ecuación (4) se determina si el componente eléctrico da como resultado un factor de seguridad aceptable:

$$FS = \frac{\text{Torque de falla}}{\text{Torque de trabajo}} \quad (4)$$

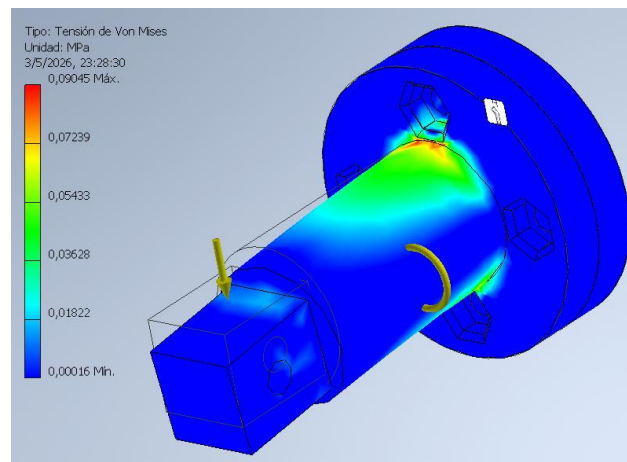
Lo que nos da un factor de seguridad para el torque requerido de:

$$FS = 22,8$$

Este valor obtenido es 22,8 veces el torque requerido, garantizando de manera exitosa el movimiento de los brazos del robot.

Figura 7

Análisis estático del eje de los brazos del robot.

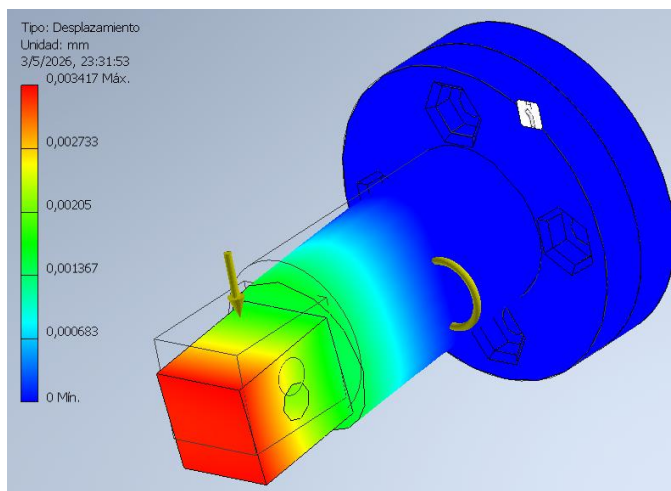


Nota. Elaboracion propia en software CAD.

Se obtiene el análisis de desplazamiento y se observa el valor para determinar si aguanta o no el peso del brazo.

Figura 8

Análisis de desplazamiento del eje de los brazos del robot.

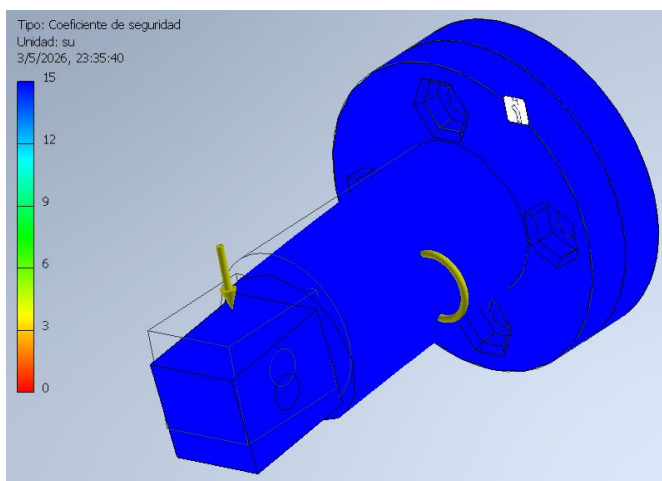


Nota. Elaboración propia en software CAD.

Se obtiene el factor de seguridad para el eje del brazo sometido a la fuerza que va a soportar y el momento del torque generado, se puede observar que si soporta las condiciones para el movimiento del brazo.

Figura 9

Análisis de factor de seguridad del eje de los brazos del robot.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

El análisis estático de elementos finitos del eje del brazo demuestra que la pieza diseñada resiste satisfactoriamente las cargas a las que estará sometida durante el funcionamiento del robot. El esfuerzo máximo de Von Mises (0,09045 MPa) representa apenas el 0,26% de la resistencia del material, y el factor de seguridad superior a 15 garantiza la seguridad estructural, validando el uso de PETG con impresión 3D para este componente.

Además, para determinar el tipo de apoyo que usar en el eje del robot se usa un rodamiento de bolas que permite al eje tener un movimiento más suave y sin tanta fricción. A continuación, se presentan los cálculos que permite la selección del rodamiento de la serie 6805 – 2RS se escoge el de diámetro interior 25 mm y diámetro exterior 37 mm, tal y como se observa en la Figura 10.

Figura 10

Catálogo de rodamiento serie 6805-2RS.

Datasheet

RS Sealed Deep Groove (Popular Metric) Single Row Bearings



RS No.	ID (mm)	OD (mm)	Width (mm)	Load		Max. Speed Rating		Mass (kg)
				Dynamic (kN)	Static (kN)	Grease (rpm)	Oil (rpm)	
619-0452	25	37	7	3.870	2.655	16200	18900	0.0220
619-0446	25	47	12	9.090	5.265	13500	16200	0.0800
619-0468	25	52	15	12.600	7.065	11700	13500	0.1280
619-0474	25	62	17	19.080	9.810	10800	12600	0.2320

Nota. Tomado de Catálogo de rodamientos RS PRO.

Con los datos utilizados anteriormente para los análisis CAE, en este apartado se los utiliza para verificar la capacidad del rodamiento, se realiza el cálculo de la fuerza radial la cual para nuestro caso es equivalente a la fuerza calculada para el brazo.

$$F_{\text{brazo}} = F_r = 2,09 \text{ N}$$

Además, se considera una pequeña carga axial del 10% para ser conservadores debido a posibles desalineaciones y efectos dinámicos utilizando la ecuación (5).

$$F_a = F_r * 0,1 \quad (5)$$

$$F_a = 0,21 \text{ N}$$

Como la carga dinámica equivalente “P” para un rodamiento de bolas rígido se tiene la ecuación (6):

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (6)$$

Para la serie 6805 utilizamos la tabla 18 para determinar los valores de X e Y:

Tabla 18

Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas

Fa/C _o	e	Fa/Fr ≤ e		Fa/Fr > e	
		X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂
0.014*	0.19	1.0	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.0	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.0	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.0	0	0.56	1.85

Nota. Adaptado de *Diseño en ingeniería mecánica* (9.^a ed., p. 556), por J. E. Shigley, C. R. Mischke y R. G. Budynas, 2011, McGraw-Hill.

La cual aplicando la ecuación (7) establecida por la tabla 18 se tiene los siguientes resultados:

$$\frac{F_a}{F_r} \quad (7)$$

$$\frac{0,21}{2,09} = 0,1$$

Para escoger el valor de factor de límite de carga aplicamos la siguiente ecuación (8):

$$\frac{Fa}{Co} \quad (8)$$

$$\frac{0,21}{3,87 * 10^3} = 5,43 * 10^{-5}$$

Donde Co es la carga dinámica nominal establecida por el fabricante, además en base al resultado obtenido se escoge el primer valor de la tabla 17 para determinar los siguientes cálculos.

$$e \approx 0,19$$

Lo cual permite determinar el valor de $X = 1$ y $Y = 0$. Entonces el valor de la carga dinámica equivalente reemplazando los valores obtenidos anteriormente en la ecuación (6) es:

$$P = 2,09 \text{ N} \approx 0,002 \text{ kN}$$

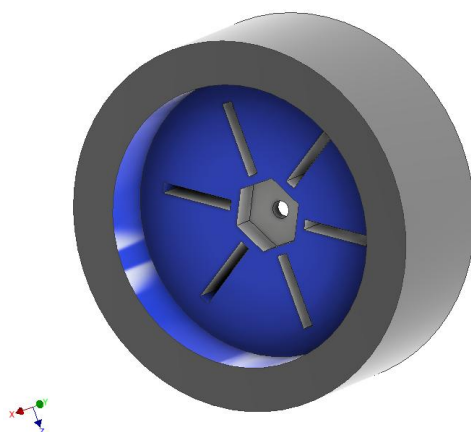
Por lo tanto, el rodamiento 6805-2RS para esta aplicación es ideal, la carga real es solo de 0,002 kN frente a una capacidad de 3.87 kN por lo que se garantiza una vida útil prácticamente ilimitada dado que la capacidad dinámica del fabricante es aproximadamente 4000 veces mayor a comparación de la real obtenida, además la selección de este rodamiento permite tener un movimiento suave y su costo es bastante bajo y no ocupa tanto espacio en el robot.

Movimiento de robot

En el subsistema del movimiento del robot se tiene las bases para motores DC que irán conectados a las ruedas para el movimiento del robot. Se tiene las ruedas de un diámetro de 70 mm para el movimiento de toda la estructura del robot.

Figura 11

Rueda para motor DC movimiento continuo.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

Propiedades del material

La rueda es un componente comercial fabricado en ABS con una masa de 0,024 kg por unidad, para un total de las cuatro ruedas que suman 0,096 kg. Las propiedades mecánicas del ABS utilizadas en la simulación se presentan en la *Tabla 19*.

Tabla 19

Propiedades material ABS.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1060	kg / m^3
Módulo de Young	$2,3 \times 10^9$	Pa
Resistencia a la tracción	40×10^6	Pa
Coeficiente de Poisson	0,35	--

Nota. Elaboración propia

El ensamble completo del robot tiene una masa total de 7,8 kg obtenido directamente del programa de software CAD, el robot cuenta con cuatro ruedas motrices cada uno conectada directamente a un motor DC de alto torque distribuyéndolos de manera uniforme entre las cuatro ruedas, dado que la batería se encuentra centrada en la base equilibrando la carga sobre la estructura inferior. Para determinar la fuerza total del robot se utiliza la ecuación (1) la cual da como resultado:

$$F_{total\ robot} = 76,52\ N$$

Distribuyendo equitativamente entre las cuatro ruedas motrices la fuerza total podemos ver el valor por cada rueda.

$$F_{radial} = \frac{76,52\ N}{4} = 19,13\ N$$

Cada rueda recibe el torque directo del motor conectado que se multiplica la F_{radial} por el radio de la rueda obteniendo el valor de 0,67 N·m, para determinar la fuerza tangencial transmitida mediante el acople hexagonal central utilizamos el torque nominal de cada motor que es de 13 kg·cm equivalente a 1,275 N·m, de acuerdo a la hoja técnica del fabricante, por lo que la fuerza tangencial transmitida mediante el acople hexagonal central se determina con la ecuación (9), considerando un radio efectivo de 6.0 mm correspondiente al apotema del hexágono regular.

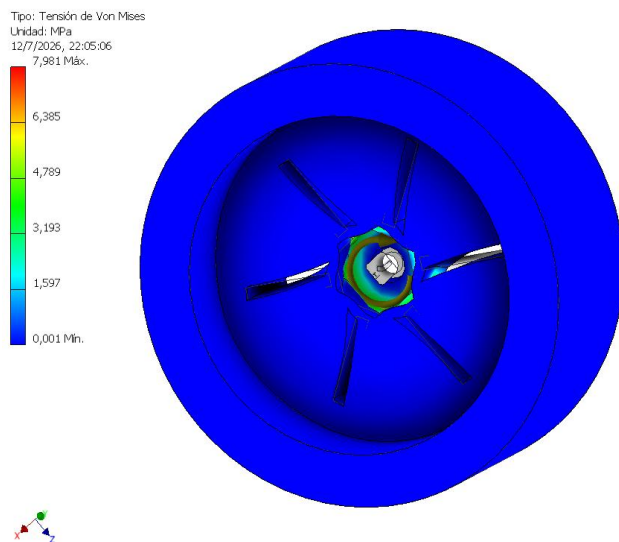
$$F_{tangencial} = \frac{T}{r_{centro}} \quad (9)$$

$$F_{tangencial} = 212,5\ N$$

El torque nominal del motor es superior al torque mínimo requerido por cada rueda, que fue obtenido a partir del análisis de la carga del robot, por lo tanto, el motor seleccionado dispone de la capacidad necesaria para transmitir la fuerza necesaria para mover toda la estructura del robot.

Figura 12

Análisis estático de rueda para motor DC movimiento continuo.

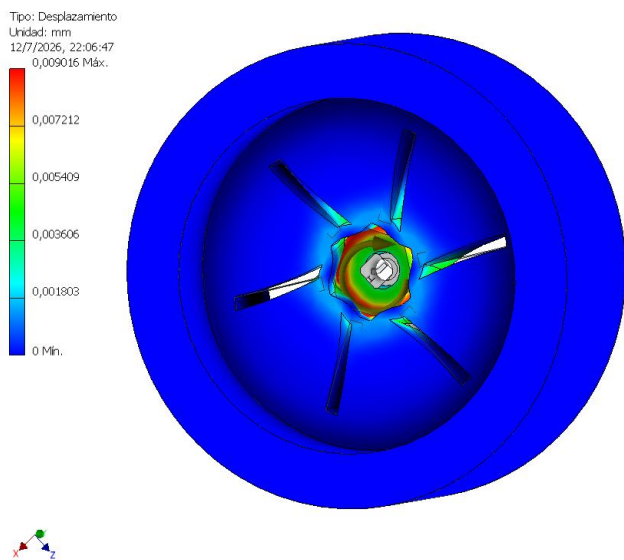


Nota. Elaboración propia en software CAD.

Se obtiene el análisis de desplazamiento y se observa el valor para determinar los valores en este caso sometido a torsión.

Figura 13

Análisis del desplazamiento de rueda para motor DC movimiento continuo.

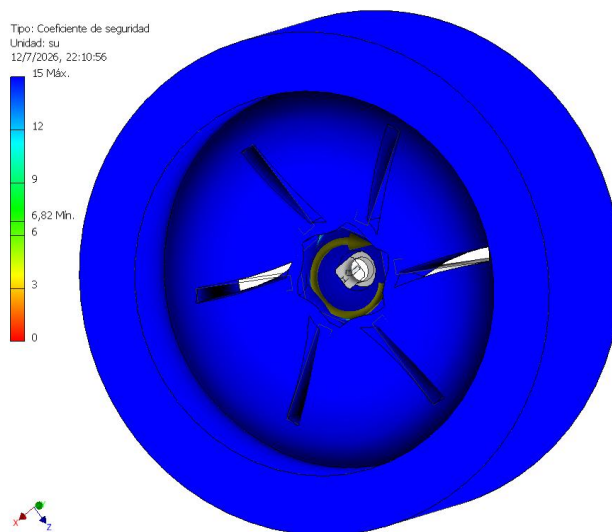


Nota. Elaboración propia en software CAD.

Se obtiene el factor de seguridad donde se puede observar que si soporta el torque generado por el motor.

Figura 14

Análisis de factor de seguridad de rueda para motor DC.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

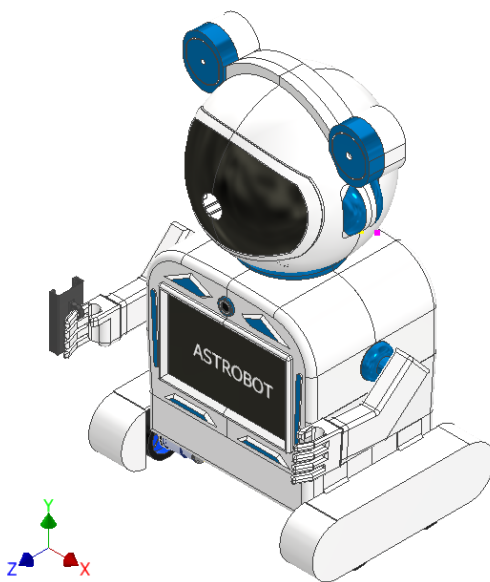
El análisis estático demuestra que el acople de la rueda resiste las cargas máximas previstas para el sistema. La simulación se realizó considerando un torque de $1275 \text{ N}\cdot\text{mm}$, correspondiente a la condición de carga más crítica identificada. Se obtuvo un esfuerzo equivalente de Von Mises de $7,981 \text{ MPa}$, un desplazamiento máximo de $0,009 \text{ mm}$ y un factor de seguridad estático de $6,82$, valores que evidencian un comportamiento estructural adecuado. Debido a que durante la operación del robot el acople está sometido a aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección y pequeñas cargas de impacto que no se representan en un análisis estático, se adoptó un factor dinámico conservador de 3 para aproximar estas solicitaciones, bajo esta consideración, el factor de seguridad efectivo es aproximadamente $2,27$, valor superior al mínimo recomendado para componentes mecánicos sometidos a cargas dinámicas moderadas.

Ensamble completo del robot

Se tiene una vista del modelo CAD terminado del robot a implementar con los subsistemas mecánicos, en esta parte se puede apreciar los acabados del robot donde va a tener ciertas piezas pintadas para mejorar la estética.

Figura 15

Ensamble completo del robot.



Nota. Elaboración propia en software CAD.

El robot en su mayoría se lo va a dejar de color blanco debido a la similitud de los trajes de astronautas, los acabados de color negro van a estar presentes en ciertas piezas del robot para que tenga una apariencia llamativa, al igual que el color azul presente en la cabeza, brazos y cuello de AstroBot.

Diseño electrónico

El diseño electrónico del robot se define en función de los componentes seleccionados para su implementación, los elementos principales y secundarios como la tarjeta de control, los servomotores, así como la pantalla y otros actuadores se definen en la Tabla 20.

Tabla 20

Elementos electrónicos del robot.

Elemento	Cantidad
Raspberry Pi 5	1
Pantalla 9"	1
Servomotores	2
Motores DC	4
Cámara	1
Diodo led	1
Proyector	1

Nota. Elaboración propia

La alimentación para estos componentes es una batería de 12 V que tiene una capacidad de 15Ah, dado que la mayoría de los elementos operan a 5V se requieren reguladores de voltaje para reducir el voltaje de alimentación excepto los motores DC que sirven para el movimiento. Para verificar la capacidad de la batería se analiza el consumo de dos escenarios. El primer escenario son los elementos que permanecen activos de forma continua.

Tabla 21

Elementos electrónicos siempre activos.

Elemento	Cantidad	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
Raspberry Pi 5	1	5	5	25
Pantalla 9"	1	5	3	15
Total continuo				40 W

Nota. Elaboración propia

Luego los elementos que son activados mediante señales a los relés según los requerimientos del sistema.

Tabla 22

Elementos activados por señales a relés.

Elemento	Cantidad	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
Servomotores	2	5	0,5	5
Motores DC	4	12	1	48
Cámara	1	5	0,5	2,5
Proyector	1	5	0.3	5
Total activable				60,50 W

Nota. Elaboración propia

Se suma las dos potencias de los elementos electrónicos para realizar los cálculos correspondientes obteniendo un valor de 100,5 W. Si se considera que los reductores de voltaje tiene una eficiencia del 85%, utilizando la ecuación (10) permite determinar la potencia:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} \quad (10)$$

Donde P_{in} es la potencia de entrada requerida desde la batería, P_{out} es la potencia nominal de los elementos electrónicos. Obteniendo como resultado lo siguiente:

$$P_{in} = 118,24 \text{ W}$$

Con la corriente de la batería de 12 V mediante la ecuación (11) se calcula la corriente entregada:

$$I_{Entregada} = \frac{P_{in}}{V} \quad (11)$$

$$I_{Entregada} = 9,85 \text{ A}$$

Con los cálculos realizados se puede determinar el consumo máximo mediante la ecuación (12), ya sea usando los elementos continuos y activables de manera simultánea o solo los continuos. La batería nos entrega:

$$E_{bat} = V * C_{bat} \quad (12)$$

$$E_{bat} = 180 \text{ Wh}$$

Para determinar el tiempo de consumo máximo de uso simultáneo se utiliza la ecuación (13), el valor a obtener permite comprender el tiempo de autonomía que tiene.

$$t_{autonomia} = \frac{E_{bat}}{P_{in}} \quad (13)$$

$$t = \frac{180}{118,24} = 1,52 \text{ horas}$$

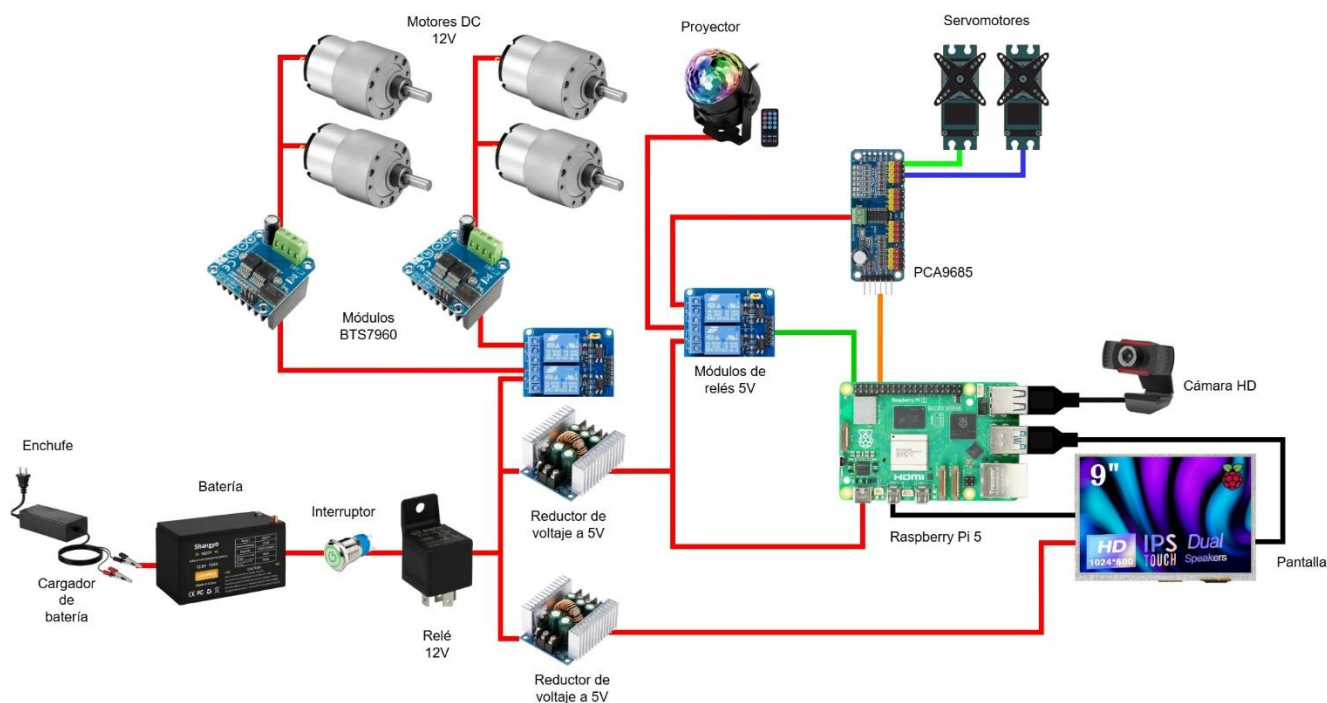
De igual manera utilizando la ecuación (13) se realiza el cálculo solo considerando los elementos de uso continuo:

$$t = \frac{180}{\frac{40}{0,85}} = 3,83 \text{ horas}$$

La batería de 12V 15Ah sigue siendo suficiente para un uso promedio del robot, aparte de que el sistema debe cargarse y reposar después de darle un uso continuo, también se toma en cuenta que los convertidores deben ser de buena capacidad para garantizar que se cumpla los tiempos calculados.

Figura 16

Diagrama de conexiones del sistema electrónico.



Nota. Elaboración propia

Sistema de control y comunicaciones

El control de los actuadores del robot que comprenden los 2 servomotores para el movimiento de brazos y 4 motores DC de la estructura completa se utiliza un módulo controlador PCA9685 y dos módulos BTS7960, la conexión con la Raspberry Pi 5 se lo realiza mediante I2C utilizando los pines GPIO2 (SDA) y GPIO3 (SCL). Esta conexión expone un número limitado de salidas de modulación por ancho de pulso (PWM) al PCA9685, el procesador central se queda libre para dedicar los recursos de su procesador a tareas con mayor complejidad como el uso de la IA.

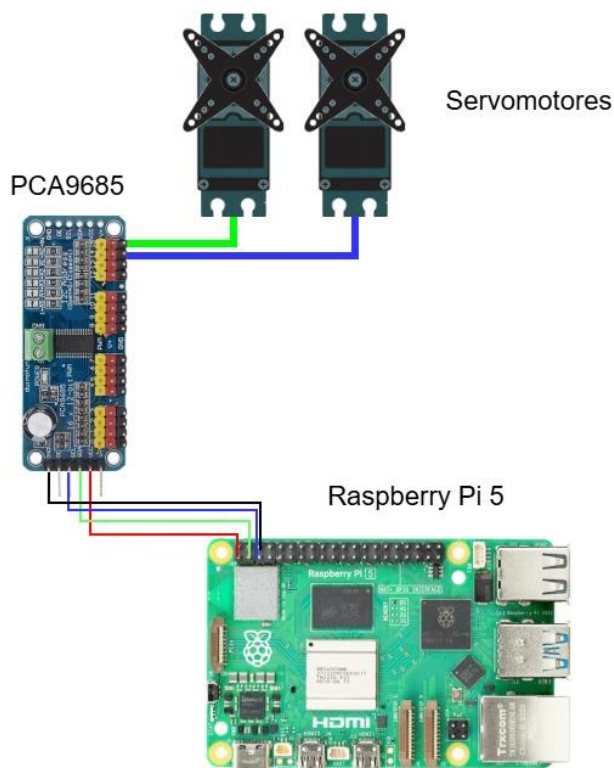
La alimentación para los actuadores se lo realiza mediante el convertidor de voltaje que está en un valor de 5 [V] mencionado en el apartado de Diseño electrónico, dado que la

capacidad de entrega de corriente supera a lo que puede hacer la Raspberry Pi 5, se los asigna a un canal independiente de la siguiente manera:

- Canal 0: Servomotor para movimientos brazo derecho (posición inicial a 0 °)
- Canal 1: Servomotor para movimiento brazo izquierdo (posición inicial a 180 °)

Figura 17

Diagrama de conexión del módulo PCA9685 y la Raspberry Pi 5.



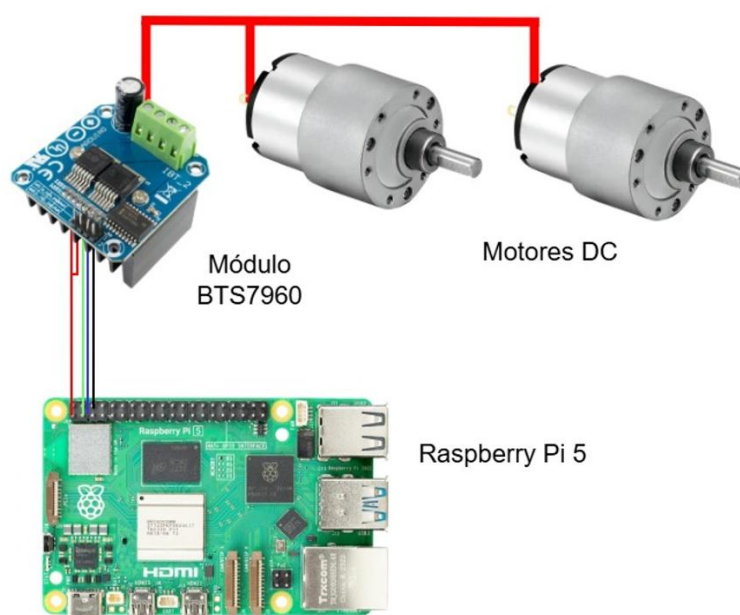
Nota. Elaboración propia

Las señales de control de cada actuador se gestionan mediante el script de Python ejecutándose en la Raspberry Pi 5, haciendo uso de librerías de control compatibles para el PCA9685 ya que nos permite escribir directamente los valores de ciclo de trabajo en cada canal del módulo.

El movimiento del robot se realiza mediante cuatro motores DC de 12 V, para el control se implementa dos módulos puente H BTS7960 conectados directamente a los pines GPIO de la Raspberry Pi 5, mediante esta configuración se genera las señales PWM y se define el sentido de giro de cada lado, un módulo BTS7960 controla los motores del lado derecho y el otro los del lado izquierdo, haciendo posible el movimiento diferencial del robot.

Figura 18

Diagrama de conexión del módulo BTS7960 y la Raspberry Pi 5.



Nota. Elaboración propia

Los motores se alimentan directamente desde la batería de 12 V a través de un sistema de relés, el cual permite habilitar o cortar el suministro de energía cuando es necesario. Esta configuración se implementa porque la corriente demandada por los cuatro motores al operar simultáneamente supera la capacidad de la Raspberry Pi 5 y de sus circuitos de control. De esta manera se garantiza la potencia necesaria para el desplazamiento del robot mientras que el aislamiento entre la etapa de potencia y la electrónica de control evita caídas de tensión que podrían afectar el rendimiento del procesador y de los demás componentes del sistema.

Desarrollo de la interfaz gráfica

En este apartado se describe todo lo relacionado con la programación para el funcionamiento del robot en el HMI (Interfaz Hombre Máquina) del robot. Se detalla las herramientas y tecnologías utilizadas para diseñar una interacción dinámica enfocada en el aprendizaje mediante respuestas auditivas e indicadores visuales.

El desarrollo de la interfaz se la realiza en un script en Python, utilizando librerías gráficas se logra obtener una pantalla de bienvenida para que el usuario pueda interactuar de manera intuitiva con el robot.

Figura 19

Interfaz gráfica principal.

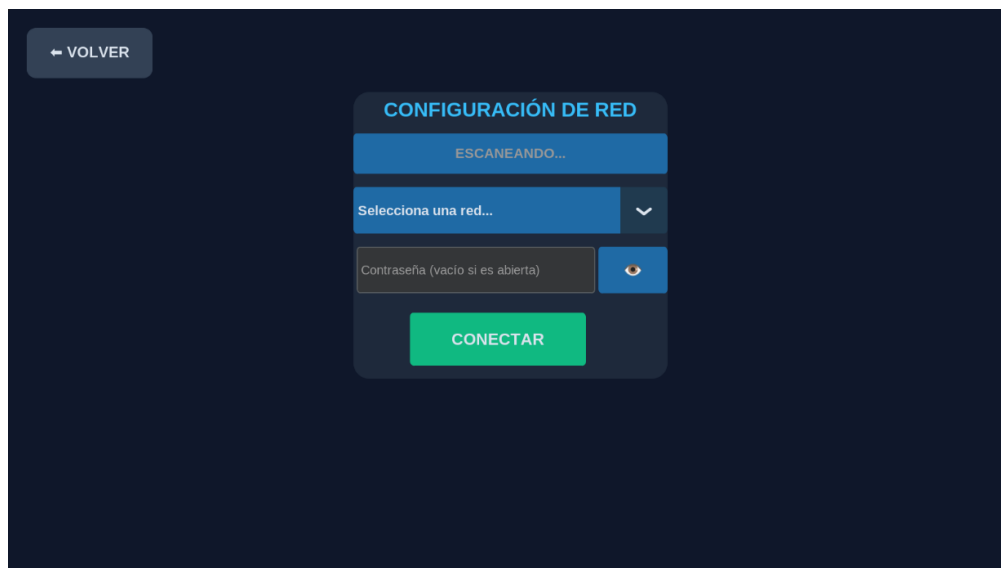


Nota. Elaboración propia

En el menú principal en la parte inferior derecha cuenta con un botón para conectarse a internet mediante Wi-Fi.

Figura 20

Panel de configuración de red Wi-Fi.

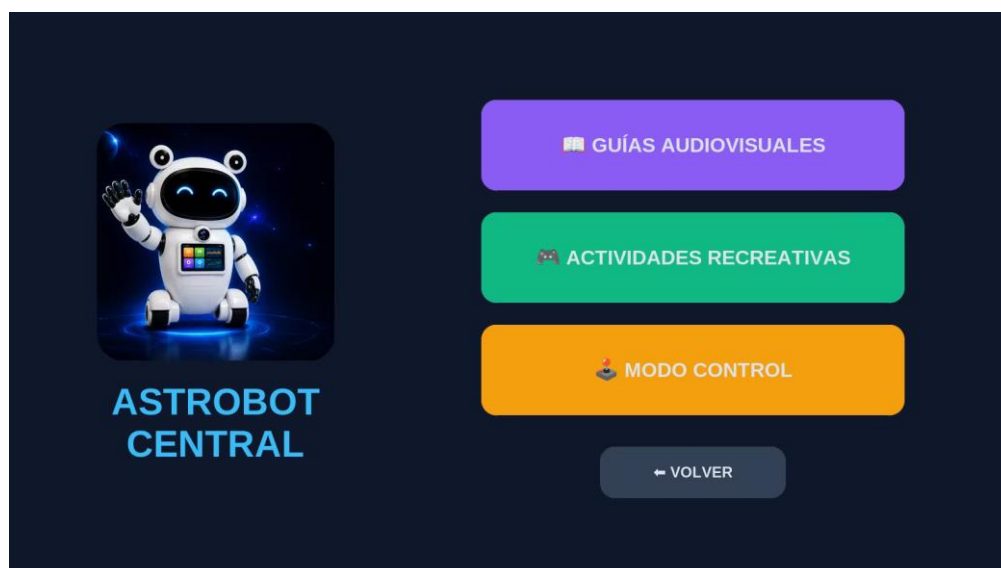


Nota. Elaboración propia

En la opción de “COMENZAR AVENTURA” se despliegan más opciones indicando las actividades que puede realizar el robot.

Figura 21

Panel de selección de modo educativo.



Nota. Elaboración propia

En el modo de “GUÍAS AUDIOVISUALES” que se observa en la Figura 22 se encuentran videos educativos con una duración máxima de 2 minutos las cuales están relacionados con temas de astronomía, con el objetivo de reforzar o servir de apoyo de los temas que son vistos en clases.

Figura 22

Apartado de guías audiovisuales.



Nota. Elaboración propia

Para el modo de “ACTIVIDADES RECREATIVAS” se realizan juegos interactivos como preguntas sencillas con gráficos de tal manera que sea llamativo para las personas, en la Figura 23 se observa una de las propuestas realizadas.

Figura 23

Actividad propuesta Kahoot con tema espacial.



Nota. Elaboración propia

Se tienen más actividades para el apartado de actividades, enfocados en temas del espacio, los demás apartados se visualizan en la Figura 24.

Figura 24

Menú completo de Actividades Recreativas.

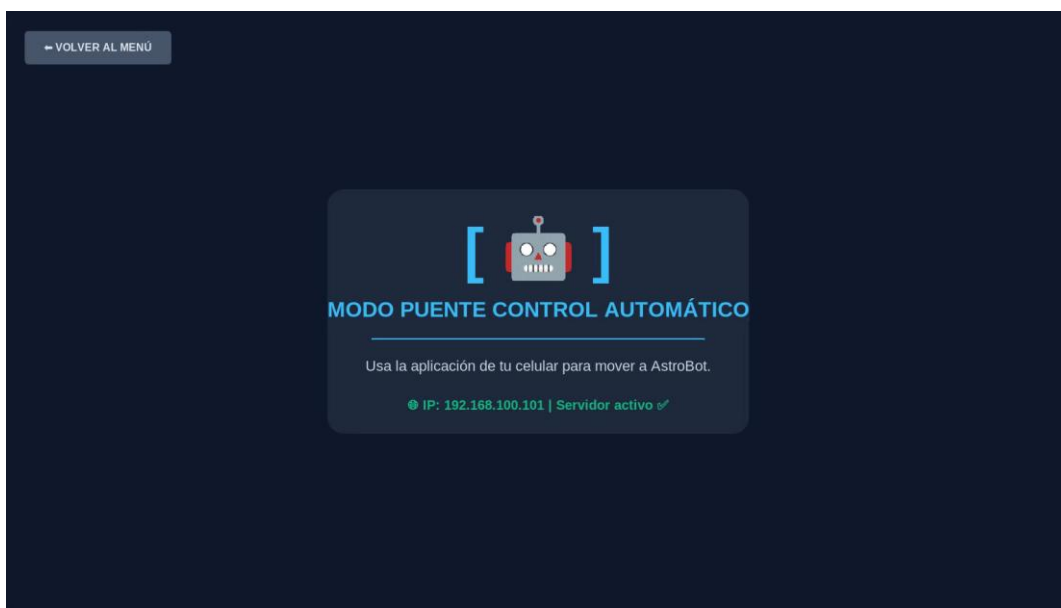


Nota. Elaboración propia

Para el apartado de “MODO CONTROL” se realiza un entorno de conexión para que mediante la aplicación del celular “AstroBot” se pueda realizar el saludo del robot o el movimiento de este. En la Figura 25 se muestra la pantalla con la configuración para hacerlo mediante Wi-Fi al robot.

Figura 25

Pantalla de conexión del Modo Control.



Nota. Elaboración propia

La interfaz desarrollada se opta por una organización modular, organizando todo en secciones para facilitar el entendimiento de la programación, por ello el programa principal esta independiente de las ventanas de los modos que se piensen escoger para interactuar.

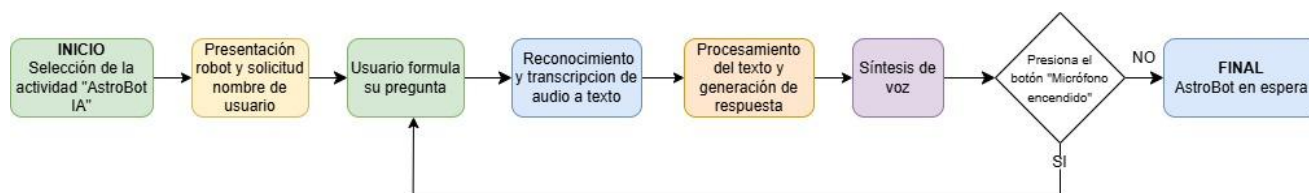
Integración de inteligencia artificial

El uso de la IA en el robot tiene como propósito que actúe como un Bot interactivo, capaz de mantener conversaciones naturales con las personas sobre los contenidos relacionados al espacio. Esta interacción opera mediante voz de forma similar a un asistente inteligente de la siguiente forma:

1. La persona abre la actividad “AstroBot IA”.
2. El robot se presenta de forma autónoma y solicita el nombre de la persona que se encuentra frente a él.
3. El usuario responde con su nombre y realiza una pregunta o solicitud.
4. El robot captura el audio del entorno y las transcribe de manera precisa.
5. El robot genera una respuesta del texto transcrito y formula una respuesta utilizando lenguaje didáctico enfocado en la astronomía.
6. La respuesta generada es convertida nuevamente en audio y reproducida por el robot, una vez finalizado se pone en espera para otra pregunta mediante un botón de escucha.

Figura 26

Diagrama de flujo de activación de la IA.



Nota. Elaboración propia

El diagrama de flujo de la Figura 26 consta de siete etapas definidas, la primera etapa es la de apertura del programa en la cual se abre la interfaz, en la segunda etapa AstroBot realiza una presentación y solicita nombre del usuario con el que va a interactuar una vez acabada la presentación solo en la primera instancia no se solicita habilitar el micrófono y para

la detección y transcripción de la voz de acuerdo a la respuesta que se haya realizado el modelo utilizado es Gemini 2.5 flash lite el cual recibe la respuesta del usuario y la transcribe con alta precisión, en caso de existir problemas con dicho modelo este cuenta con un respaldo que incorpora el sistema del modelo Whisper Large V3 Turbo ejecutado mediante la plataforma de Groq el cual permite dar continuidad de la actividad, esto permite culminar con las etapas 3 y 4 de manera eficiente.

En la quinta etapa una vez obtenida la transcripción el modelo encargado de las respuestas es Llama 3.3 70B Versatile proveniente de la plataforma de Groq el cual fue seleccionado en base a la tabla 23, este analiza y genera la respuesta de acuerdo a lo que el usuario solicite respecto al tema de astronomía, en caso de que se realicen preguntas que no están relacionadas, de bonita manera le trata de llevar a la conversión del tema central de la Astronomía esto se logra mediante un System prompt en el cual está definido como un acompañante y guía educativo adecuado para niños.

Tabla 23

Evaluación de modelos IA.

Parámetro	Gemini flash 2.0 lite Google AI Studio	Groq Llama 3.3 Groq Cloud	DeepSeek V3 DeepSeek API
Solicitudes/minuto	20 RPM	30 RPM	20 RPM
Tokens por día	Sin límite de tokens diarios	500k/día	1 millón/día
Latencia promedio	1,500 ms a 3,000 ms (1.5 a 3 segundos)	200 - 300 ms	600 – 900 ms
Calidad de respuesta	Buena	Buena	Buena

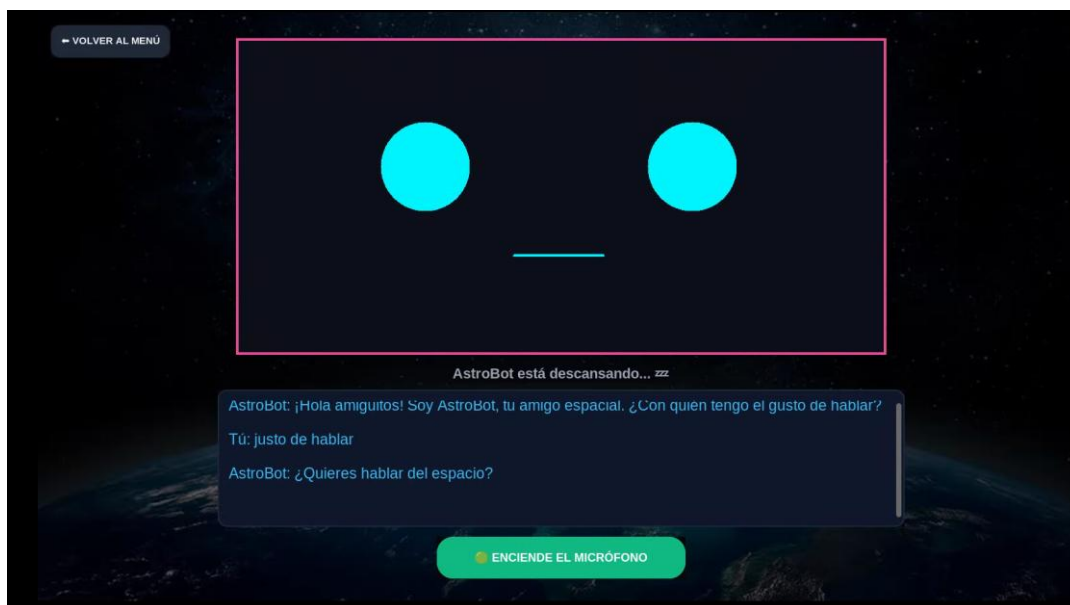
Nota. Elaboración propia

Para completar el ciclo de manera fluido en la séptima etapa corresponde a la conversión de audio para ello se utiliza la librería Piper Text-to-Speech en esta librería se implementa un modelo de voz que está basado en modelos neuronales para este caso en específico se utilizó es_MX-claude-hig.onns le cual se ejecuta de manera local en la Raspberry Pi 5 mediante ONNX runtime el cual es el motor que ejecuta el modelo neuronal permitiendo así obtener una voz natural.

Además, se puede observar en la Figura 27 la interfaz con una conversación personal con el robot de tal manera que sea más interactiva.

Figura 27

Interfaz del asistente conversatorio con IA.



Nota. Elaboración propia.

Integración de la realidad aumentada

La integración de la RA en el robot se da mediante dos modos de funcionamiento diferenciados que operan de forma coordinada, por un lado, se tiene actividades donde la persona se proyecta en la pantalla mediante el uso de la cámara, donde en tiempo real se activan los filtros interactivos mediante librerías OpenCV y Mediapipe en el código Python. Se captura la imagen de la persona en tiempo real, se detecta puntos de referencia previamente establecido como alguna parte del cuerpo y sobre estos puntos se superponen elementos gráficos temáticos dependiendo de la actividad, en la Figura 28 se representa la actividad.

Figura 28

Representación de persona frente al robot con casco de astronauta.



Nota. Elaboración con inteligencia artificial.

En una de las actividades el sistema detecta la cabeza de la persona y le coloca un casco de astronauta junto con un fondo que simula la superficie de la Luna, así generando la ilusión de que se encuentra en ese lugar tal y como se observa en la Figura 29. En otra actividad se hace la detección de una parte del cuerpo como puede ser la mano así activando un filtro que rodea al usuario con elementos del espacio como estrellas, planetas o naves, creando la sensación de estar en el universo. Estas experiencias se muestran en la pantalla

táctil del robot buscando que la persona se sienta protagonista del contenido que está aprendiendo.

Figura 29

Diseño de casco para la actividad de colocación sobre la persona con RA.



Nota. Elaboración propia

Asimismo, se incluirán apartados con RA como actividades más interactivas de tal manera que llamen la atención y sea más dinámico.

Figura 30

Interfaz de RA dinámica con reconocimiento de manos.



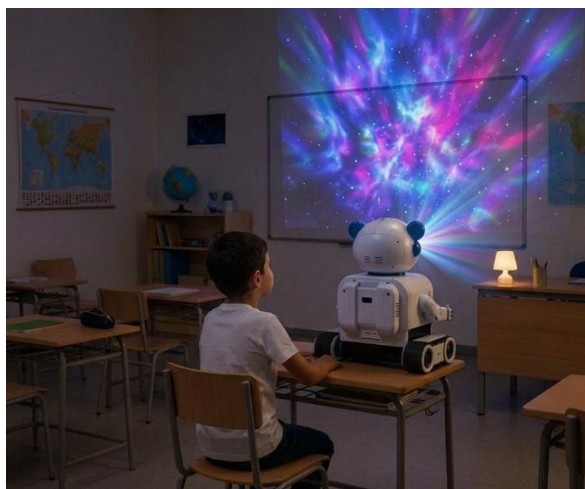
Nota. Elaboración propia.

Integración de experiencia inmersiva

La experiencia inmersiva se logra con el uso de la proyección ambiental, esta se activa mediante una actividad desde la interfaz la Raspberry Pi 5 este envía la señal al proyector integrado en la estructura del robot, el cual una vez activado se va a iluminar con luces en forma de estrellas e incluso con la forma de la luna, todo esto se lo puede realizar en un espacio medio oscuro para que se convierta en un escenario espacial, además que tiene su propio control para poder variar los colores, activar solo las estrellas o solo la luna de tal manera que sea una experiencia inmersiva.

Figura 31

Proyección ambiental de AstroBot.



Nota. Elaboración con inteligencia artificial.

Además, AstroBot contará con un control móvil de aplicación para la realización de movimientos manuales de los brazos y seleccionar el apartado para el movimiento, en la Figura 32 observa la interfaz de la aplicación.

Figura 32

Interfaz de conexión al robot.



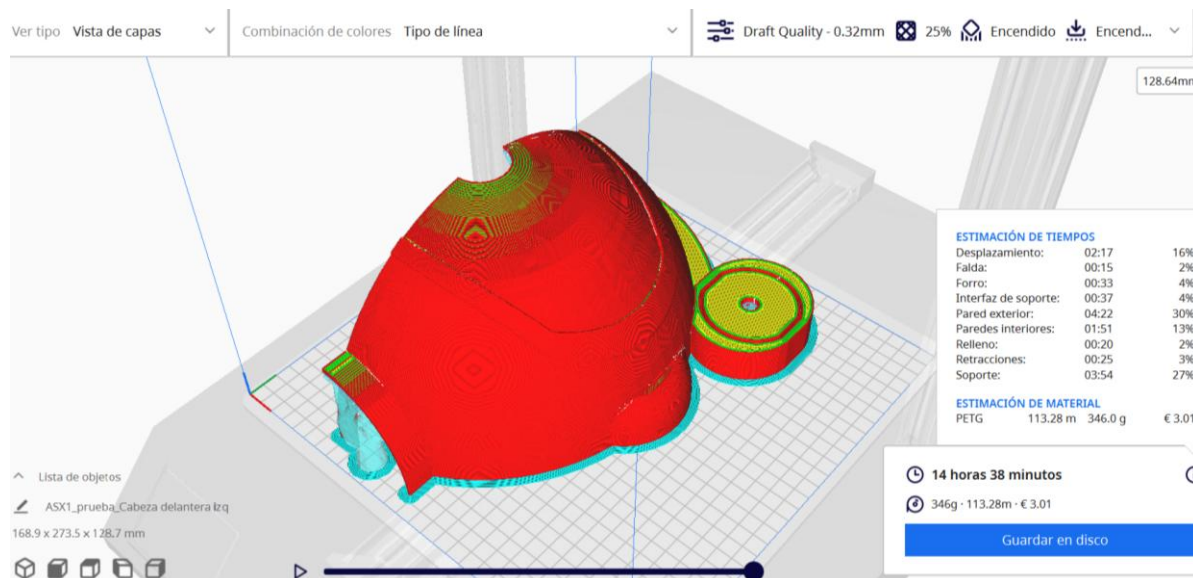
Nota. Elaboración propia

Construcción del prototipo

Concluida la fase de diseño del robot se realiza el proceso de construcción del mismo mediante la fabricación de sus componentes, la mayor parte de las piezas se realizan utilizando impresión 3D utilizando el filamento PETG anteriormente seleccionado por su adecuada resistencia mecánica y durabilidad para las condiciones de operación previstas. En la Figura 33 se muestra la preparación de las piezas en el software de la impresora 3D para la configuración de parámetros.

Figura 33

Preparación de las piezas en el software de la impresora 3D.

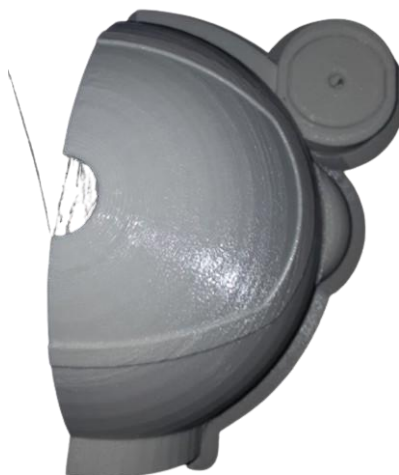


Nota. Software de la impresora 3D.

Las diferentes piezas del robot fueron configuradas con los mejores parámetros para obtener el mejor acabado, además, considerando las medidas del robot y las medidas se tuvo que realizar de manera modular para posterior unir pieza por pieza.

Figura 34

Cabeza del robot impresa.



Nota. Elaboración propia.

Todas las piezas impresas necesitan la parte de post procesado debido a las inconsistencias presentadas al momento de imprimir, por eso se usa masilla automotriz para corregir algunos errores, después lijarlas y se pueda obtener una superficie lisa lista para pintar.

Figura 35

Cabeza masillado y lijada.



Nota. Elaboración propia.

Una vez lijadas las piezas se procede a utilizar un spray de imprimación posterior pintarlas del color que son del robot. En la Figura 36 se observa una vez puesto la capa de imprimación y pintado de fondo blanco para luego colocar los colores adecuados.

Figura 36

Cabeza pintada con primer y fondo blanco.

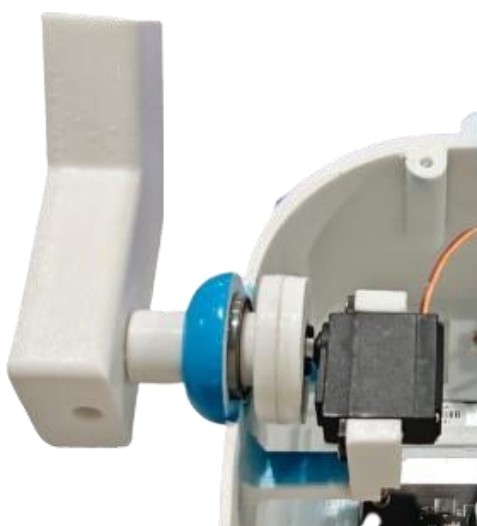


Nota. Elaboración propia.

Posterior a ello se pinta todas las piezas exteriores acorde al diseño realizado en el software 3D, y se procede a armarlo. Para el movimiento de los brazos se tiene el mecanismo del servomotor acoplado a un inserto metálico y conectado al eje, además se pone el rodamiento para que no exista problemas en el giro del brazo.

Figura 37

Acople del servomotor para movimiento de brazos.

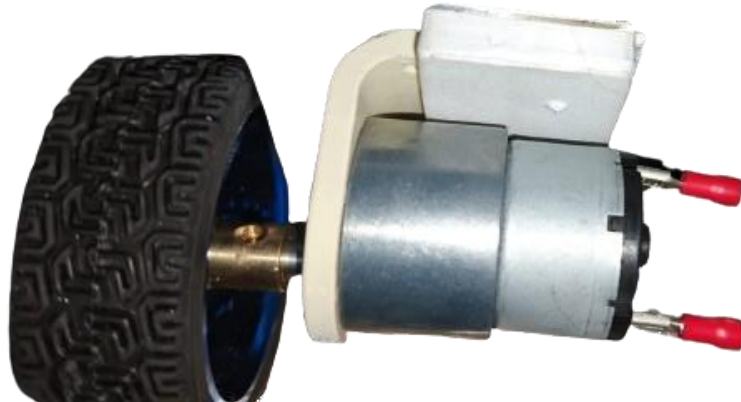


Nota. Elaboración propia.

Para el movimiento del robot se tiene la base de los servomotores, los cuales se van a acoplar directamente a la rueda por lo que se ubican en la parte inferior del robot para que puedan tener menor esfuerzo.

Figura 38

Base para los servomotores de las ruedas del robot.

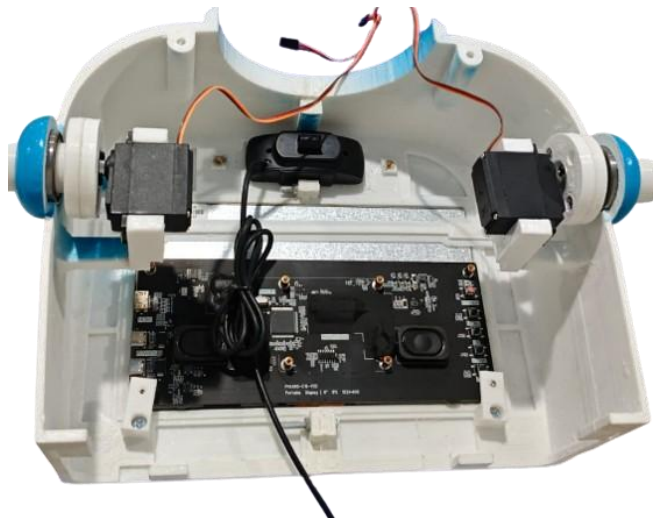


Nota. Elaboración propia.

Se instalan los componentes que se van a ver en la parte frontal del robot como son: la cámara, la pantalla, la luz en la parte de la cabeza.

Figura 39

Pantalla y cámara ensamblas en el cuerpo frontal del robot.



Nota. Elaboración propia.

Después del armado de la parte electrónica con la parte física se observa en la Figura 40 el acabado final del robot con todos los componentes prendido y funcionando.

Figura 40

Robot ensamblado completo.



Nota. Elaboración propia.

Capítulo 4: Pruebas y resultados

En este capítulo se presenta las pruebas realizadas al robot, detallando los diferentes procedimientos de evaluación, los resultados obtenidos y el análisis correspondiente. Estas pruebas permiten verificar el desempeño, funcionamiento e integración adecuada de los diferentes módulos desarrollados.

Verificación y validación del funcionamiento del prototipo

En este apartado se describen todas las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento y los resultados correspondientes. Para la cuantificar y validar las pruebas se realiza con una escala que se indica en la tabla 24.

Tabla 24

Matriz de calificación.

Valor	Equivalencia
1	Deficiente
2	Aceptable
3	Excelente

Nota. Elaboración propia

Pruebas de accionamiento de los actuadores

Se realizaron dos tipos de pruebas para los diferentes actuadores que tiene el robot, en primera prueba se tiene los motores DC que sirven para el movimiento del robot y luego se tiene los servomotores para el movimiento de los brazos.

En la primera parte se realiza la prueba de los motores teniendo como resultado los siguientes valores de la Tabla 25.

Tabla 25

Resultados de la prueba de motores DC para el apartado móvil.

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio / Resultado Final
Respuesta de Arranque	3	2	3	3	2	2,6
Latencia de respuesta	3	3	2	1	3	2,4
Frenado	3	3	3	2	3	2,8
Estabilidad de giro angular	3	3	2	1	3	2,4
Estabilidad Dinámica del Chasis	3	3	2	2	2	2,4
% Éxito global	84%					

Nota. Elaboración propia

En la prueba 4 de los motores se observa que las calificaciones obtenidas no son óptimas esto se debe al aumento del ciclo de trabajo dado que se trabaja con el 70% y en las demás pruebas se lo realiza con 50 % dado que es más seguro en un entorno educativo. Asimismo, la efectividad global del 84% confirma que el control opera de manera segura y estable.

Para la realización de la prueba de los servomotores se detalla a continuación en la tabla 26.

Tabla 26

Resultados de la prueba de servomotores para el movimiento de los brazos.

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio /Resultado Final
Precisión de Rango (0° a 50°)	3	3	2	3	3	2,8
Latencia de respuesta	3	2	3	3	2	2,6
Suavidad de movimiento	2	3	2	2	3	2,4
Estabilidad en Posición	3	3	3	2	3	2,8
Fuerza de retención	3	2	3	3	3	2,8
% Éxito global	89,33%					

Nota. Elaboración propia

En esta prueba se observa un éxito funcional de 89% lo que significa que se encuentra del rango óptimo de operación.

Pruebas del software

En la prueba de software se evalúa inicialmente desde el encendido hasta el inicio de la ventana principal de la interfaz en la Tabla 27 para validar el correcto funcionamiento de operación.

Tabla 27

Resultados de la prueba de software de la interfaz.

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio /Resultado Final
Encendido e ingreso a interfaz	3	3	3	3	3	3
Navegación	3	3	2	3	3	2,8
Tiempo encendido [s]	24,45	23,46	24,44	24,30	25,10	24,35
% Éxito global encendido	100					
% Éxito global navegación	93,33%					

Nota. Elaboración propia

Como se observa en la tabla 27 el parámetro evaluado cumple en excelentes condiciones de operación con un promedio de encendido de 24,35 segundos. En lo que corresponde a navegación este alto porcentaje demuestra que opera con una fluidez excelente, la ligera penalización de la prueba se concentra al acceder a actividades como la IA y la RA debido a que exigen mayor carga computacional dado que en la navegación por otras actividades es casi instantáneo.

Pruebas de la realidad aumentada

Para las pruebas de RA para evaluar funcionalidad al momento de recrear el objeto virtual que se integra en el mundo real se evalúan los siguientes parámetros de la tabla 28.

Tabla 28

Resultados de la prueba de RA en la interfaz.

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio / Resultado Final
Reconocimiento	3	2	3	3	2	2,6
Estabilidad del modelo	2	3	2	2	3	2,4
Fluidez de renderizado	3	3	3	3	3	3,0
Desempeño con cambios de luz	3	2	3	2	2	2,4
% Éxito global	88%					

Nota. Elaboración propia

El resultado de 88% de la RA es un indicativo que valida la robustez del algoritmo dado que no presenta caídas de frames, en ciertas pruebas la calificación obtenida es aceptable debido a los cambios de iluminación y a las distancias dado que la Raspberry a mayores distancias del usuario le costara procesar detalles tales como bordes, formas, colores, entre otros para ello a continuación en la matriz de la Tabla 29 se evalúa como a medida que la distancia aumenta la eficiencia de la RA disminuye, para este caso el sistema para evaluar es 1 éxito y 0 fallo debido a que es reconoce o no el rostro.

Tabla 29

Resultados de la prueba de distancia de la RA en la interfaz.

Distancia [m]	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Porcentaje de Éxito
0.5	1	1	1	1	1	100%
1.0	1	1	1	1	1	100%
1.5	1	1	1	1	1	100%
1.8	1	1	1	1	1	100%
2.0	1	0	1	1	1	80%
2.2	0	1	0	0	0	20%
2.5	0	0	0	0	0	0%

Nota. Elaboración propia

Como se observa en la tabla la funcionalidad a medida que es mayor la distancia el rendimiento disminuye y le cuesta operar de manera óptima al controlador.

Pruebas de la inteligencia artificial

Para llevar a cabo las pruebas de la inteligencia artificial, se estableció una dinámica de interacción estructurada con el usuario. El funcionamiento inicia cuando AstroBot emite un saludo; al finalizar, le indica al usuario las instrucciones para conversar con él, solicitándole que active el micrófono. Una vez que el usuario da una instrucción o hace una pregunta y deja de hablar, el micrófono se desactiva automáticamente para que el sistema procese el audio y genere la respuesta.

Durante esta conversación continua, se evalúa la eficiencia de la IA utilizando los parámetros definidos en la matriz de pruebas. El objetivo principal es medir el rendimiento técnico y verificar la coherencia del modelo, comprobando si logra mantener el hilo de la conversación o si tiende a perder el contexto y generar respuestas irrelevantes. Los datos recopilados durante estas iteraciones se las realiza con las frases dichas de la tabla.

Tabla 30

Frases a interpretar la IA.

N°	Frase Dicha por el Usuario
1	"Saludos a Jonathan"
2	"Me gustaría viajar por el universo"
3	"Voy a viajar por mercurio primero que me recomiendas"
4	"Excelente gracias por tu recomendación"
5	"Cuéntame una fábula sobre mercurio"
6	"Puedes contarme par que sirve una nave espacial"
7	"Quiero que me cuentes una historia sobre el planeta tierra"
8	"El traje espacial para que sirve"
9	"En el espacio exterior hace mucho frío"
10	"Adiós ya me tengo que ir"

Nota. Elaboración propia

Para ello los parámetros evaluados se detallan en la Tabla 31 de tal manera que permita comprender que tan funcional es la inteligencia artificial.

Tabla 31

Resultados de la interacción con la IA.

N°	Precisión de Transcripción	Respuesta con IA (s)	Procesamiento total (s)	Calidad de la Respuesta	Observaciones
1	3	6,31	11,14	3	-
2	2	7,5	13,22	2	-
3	3	7,84	16,6	3	-
4	2	4,94	22,03	3	-
5	2	16,68	23,48	2	Conto una fábula, pero no muy acuerdo a lo que se solicito
6	3	49,92	57,49	3	-

N°	Precisión de Transcripción	Respuesta con IA (s)	Procesamiento total (s)	Calidad de la Respuesta	Observaciones
7	3	15,36	22,77	1	La historia generada es muy simple
8	3	8,66	13,93	3	-
9	3	11,32	26,32	2	-
10	1	4,35	9,77	3	Logro dar una respuesta coherente dado que la idea principal era despedirse, pero la transcripción no fue correcta.
Total	25	132,88 s	216,75 s	25	-

Nota. Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 32 se detalla la cuantificación promedio de los parámetros evaluados.

Tabla 32

Resultados finales cuantificados de la IA.

Parámetro	Valor
Precisión de Transcripción	25
Tiempo promedio de respuesta con IA. [s]	13,29
Tiempo promedio de procesamiento [s]	21,68
Calidad de respuesta	25

Nota. Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se observa que la IA local utilizada presenta un tiempo total de procesamiento promedio de 21,68 segundos. Este tiempo indica que el sistema mantiene una velocidad de respuesta moderada y funcional para la interacción.

Sin embargo, se identificó que el tiempo de generación varía según la complejidad de la consulta. Por ejemplo, al procesar preguntas que requieren un razonamiento más profundo para ser explicadas de forma didáctica a un niño, el tiempo de procesamiento puede elevarse significativamente (alcanzando hasta 57,49 segundos en el caso de la prueba N° 6). Esto demuestra que existe una relación directa entre la dificultad de la respuesta adaptada al público infantil y el aumento en el tiempo de procesamiento de la IA.

Por otro lado, tanto la precisión de la transcripción de voz como la calidad de las respuestas obtuvieron un puntaje total de 25 sobre 30. Esto indica que, en la mayoría de los casos, el rendimiento general es de aceptable a excelente. No obstante, se registraron ciertas eventualidades donde el modelo generó historias demasiado simples o, en el peor de los casos, respuestas que no se ajustaban adecuadamente a lo solicitado por el usuario.

Pruebas de consumo eléctrico

El robot está alimentado por una batería LiFePO4 (Modelo S027Y) de 12V y 15Ah, una tecnología superior a las baterías LiPo convencionales debido a su mayor seguridad, estabilidad térmica y curva de descarga plana.

Para dimensionar el consumo eléctrico, se ha estructurado una tabla utilizando una pinza amperimétrica para obtener mediciones de los componentes integrados en el sistema. El sistema se divide en cargas directas de 12V y cargas de 5V.

Tabla 33

Valores medidos de consumo de corriente por componente.

Componente	Cantidad	Voltaje de Operación	Corriente Estimada - Uso Normal	Potencia Estimada (Watts)
Motorreductor JGB37-520	4	12 V	0.25 A - 0.35 A	~ 14.4 W (Total 4 motores)
Raspberry Pi (en actividad moderada)	1	5 V	1.0 A - 1.5 A	~ 7.5 W
Pantalla Touch de 9"	1	5 V	0.8 A - 1.2 A	~ 5.0 W
Servomotor (en movimiento)	2	5 V	0.3 A - 0.5 A (por servo)	~ 4.0 W (Total 2 servos)
Proyector de Estrellas	1	5 V	0.2 A - 0.3 A	~ 1.5 W
Módulo Reductor DC-DC (Consumo propio)	1	12 V	~10% de pérdida por eficiencia	~ 1.8 W

Nota. Elaboración propia

Para validar la eficiencia de la alimentación a la etapa de procesamiento, se realizó una prueba de caída de tensión en el módulo reductor DC-DC. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

- Voltaje de salida del reductor - Sin carga: 5.150 V
- Voltaje con Raspberry Pi y Pantalla - Reposo: 5.146 V
- Voltaje con Raspberry Pi y Pantalla – Ejecutando actividades: 5.143 V

Durante un periodo de 2 minutos de reproducción de video, el voltaje del reductor varió de 5.150 V a 5.143 V. Esta caída de tensión de apenas 7 mV es estadísticamente insignificante y demuestra un excelente comportamiento térmico y de regulación de carga.

Verificación y validación del funcionamiento del sistema

Con el fin de verificar y validar el sistema desarrollado, se realizó un proceso de evaluación que permitió analizar tanto la aplicación educativa como el funcionamiento general del robot. La evaluación se dividió en dos etapas: la primera estuvo enfocada en conocer la percepción sobre la interfaz de la aplicación educativa aplicada a docentes de la carrera de Educación Inicial, la segunda se enfoca en comprobar el correcto funcionamiento e integración de los diferentes componentes del sistema aplicada a docentes de la carrera de Mecánica y Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con el propósito de obtener su valoración sobre diferentes aspectos como:

- Interfaz y usabilidad
- Realidad aumentada e inteligencia artificial
- Motivación y atención
- Implementación práctica y seguridad
- Comportamiento mecánico observado
- Comportamiento electrónico y de control
- Funcionamiento general del prototipo

Para ambas etapas se diseña una encuesta con una escala de valoración de cinco niveles, en la que cada criterio fue calificado de la siguiente manera:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 4 = De acuerdo
- 5 = Totalmente de acuerdo

Los resultados de la encuesta enfocada a los docentes de Educación Inicial se visualizan en la Tabla 34.

Tabla 34

Resultados de la encuesta realizada a docentes de Educación Inicial.

Usuario	1	2	3	4	5	Promedio
La interfaz del sistema es clara y fácil de entender.	5	5	5	5	5	5
Navegar entre pantallas resulta intuitivo.	5	5	5	5	5	5
Las funciones están bien identificadas y accesibles.	5	5	5	5	5	5
Puedo usar esta herramienta sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.	5	5	4	5	5	4,8
La interacción entre el robot y los elementos de realidad aumentada resultó comprensible y organizada.	5	3	5	5	5	4,6
El reconocimiento facial y de manos funcionó de forma precisa.	5	5	5	5	5	5
Las respuestas del asistente de inteligencia artificial fueron coherentes con lo solicitado.	5	5	5	5	5	5
La proyección de estrellas y planetas en el entorno físico enriquece la experiencia de aprendizaje.	5	5	5	5	5	5
Las imágenes, sonidos y movimientos del robot ayudan a mantener la motivación.	5	5	5	5	5	5
La experiencia despertó curiosidad por aprender sobre el espacio y la astronomía.	5	5	5	5	5	5
El uso de realidad aumentada hizo que el aprendizaje resultara más atractivo.	5	5	5	5	5	5
El robot ejecutó correctamente los movimientos y actividades programadas durante la interacción.	5	5	5	5	5	5
El sistema puede adaptarse a distintas actividades o temas.	5	5	5	5	5	5
Considero que esta herramienta puede utilizarse eficazmente en procesos de enseñanza y aprendizaje.	5	5	5	5	5	5
El diseño físico del robot es seguro para la manipulación por niños.	5	5	5	5	5	5
Recomendaría el uso de este sistema como recurso educativo para la enseñanza de astronomía.	5	5	5	5	5	5
Promedio general						4,96

Nota. Elaboración propia

Se presenta los resultados de la encuesta aplicada a los docentes de Educación Inicial, obteniendo un promedio de 4,96 sobre 5, lo que refleja una valoración positiva del sistema desarrollado.

Los resultados de la encuesta enfocada a los docentes de Mecánica y Mecatrónica se visualizan en la Tabla 35.

Tabla 35

Resultados de la encuesta realizada sobre el funcionamiento técnico.

Usuario	1	2	3	4	5	Promedio
Los brazos se mueven de forma fluida y sin obstrucciones.	4	5	4	5	5	4,6
El sistema de locomoción (ruedas) responde de manera estable.	5	5	5	5	5	5
La estructura del robot se mantiene firme durante el movimiento, sin vibraciones excesivas.	5	5	5	5	5	5
El encendido y apagado del sistema funciona correctamente.	5	5	5	5	5	5
El sistema responde de manera oportuna a los comandos enviados desde la interfaz.	5	4	5	5	4	4,6
La sincronización entre los movimientos mecánicos y el control electrónico es adecuada.	5	5	5	5	5	5
El prototipo no presenta fallas o comportamientos inesperados durante la demostración.	4	5	5	5	5	4,8
El funcionamiento general observado es coherente con lo explicado por el estudiante.	5	5	5	5	5	5
La explicación técnica del funcionamiento fue clara y comprensible.	5	5	5	4	5	4,8
Promedio general						4,86

Nota. Elaboración propia

Se presenta los resultados de la encuesta aplicada a los docentes de Mecatrónica, obteniendo un promedio de 4,86 sobre 5, lo que refleja una valoración positiva y con algunas recomendaciones enfocadas en el diseño del robot.

Análisis de costos

El costo de fabricación del robot se determinó considerando los diferentes componentes mecánicos, electrónicos, materiales de impresión 3D y demás elementos utilizados durante su construcción. La Tabla 36 muestra el detalle del precio de cada componente, así como los materiales utilizados en el proceso de fabricación y ensamblaje.

Tabla 36

Costo de fabricación del prototipo AstroBot

Componente	Cantidad	Valor unitario (USD)	Subtotal (USD)
Raspberry Pi 5	1	235	235
Pantalla táctil 9 “	1	80	80
Cámara USB	1	15	15
Micrófono USB	1	5	5
Batería 12V LiPoFe	1	80	80
Reductores DC-DC	2	10	20
Motores DC JGB37-520	4	18	72
Driver BTS7960	2	20	40
Servomotores MG996R	2	6	12
Controlador PCA9685	1	7	7
Módulo proyector	1	8	8
Módulo relés 5V	1	6	6
Botón y relé de encendido	1	12	12
Rodamientos	2	1	2
Acoples ruedas	4	5	20
Filamento 3D	6	25	150
Pintura y acabados	1	30	30
Adaptadores y cables	1	30	30
TOTAL (USD)			824

Nota. Elaboración propia

Para evaluar el precio del robot frente a otros existentes en la actualidad se selecciona 3 robots con características técnicas parecidas para poder revisar su precio, así como las funciones de cada uno.

Tabla 37

Características de robots comerciales

Robot comercial	Descripción general	Interfaz y visualización	Locomoción y movilidad	Costo comercial aproximado (USD)
Embodied Moxie	Robot social diseñado para el desarrollo cognitivo e inteligencia emocional.	Pantalla curva facial (muestra expresiones) y comandos de voz.	Base fija con capacidad de rotación, movimiento de torso y cabeza.	900
UBTECH Alpha Mini	Humanoide interactivo enfocado en programación básica y asistencia.	Pantallas LCD pequeñas en los ojos y asistente de voz en la nube.	Locomoción bípeda (camina) mediante 16 a 18 servomotores.	999
Nuwa Kebbi Air	Robot multimodal utilizado para la enseñanza en aulas y asistencia interactiva.	Pantalla táctil de 7 pulgadas en el rostro y reconocimiento de voz.	Base rodante, cabeza articulada y brazos móviles (12 grados de libertad).	950

Nota. Elaboración propia

El mercado actual ofrece plataformas robóticas de alta calidad enfocadas en la interacción social y educativa con un rango de precio que varía entre los 900 y 1000 dólares. Si se tiene en cuenta las diferentes funciones pedagógicas básicas mediante interfaces táctiles se presentan varias vulnerabilidades como la dependencia a ecosistemas cerrados o servidores

privados pertenecientes a la empresa creadora, este tipo de condiciones limita la capacidad de personalización por parte de las instituciones educativas y limita la vida útil de los componentes de esos robots. Se realiza una comparativa tecnológica para evidenciar los diferentes aspectos presentes en el robot desarrollado frente a los tres robots comerciales.

Tabla 38

Comparativa de AstroBot y robots comerciales.

Robot	Arquitectura e IA	Riesgo de obsolescencia/ Servidores	Proyección Ambiental	Realidad Aumentada (RA)	Costo comercial aproximado (USD)
AstroBot	Híbrida: Control local (Raspberry Pi 5) + APIs de ultra baja latencia (Groq y Gemini) + Piper TTS.	Muy Bajo: Control y archivos ejecutables locales. Código abierto adaptable si una API cambia.	Sí: Integra proyector estelar/galáctico inmersivo.	Sí: Cámara HD + OpenCV / MediaPipe en pantalla táctil de 9".	\$824.00 <i>Costo de fabricación</i>
Embodied Moxie	IA conversacional propietaria en la nube.	Alto: Dependencia absoluta de servidores corporativos (riesgos de cierre o cese de soporte).	No posee.	No posee.	\$900 - \$1,000
UBTECH Alpha Mini	Asistente de voz en la nube (Gartner/Baidu) en sistema cerrado.	Medio-Alto: Ecosistema cerrado; si la marca retira el soporte del sistema, el robot pierde sus funciones.	No posee.	No posee.	\$900 - \$1,000
Nuwa Kebbi Air	Reconocimiento de voz y servicios en la nube de Nuwa.	Medio-Alto: Dependencia de la plataforma en la nube y suscripciones del fabricante.	No posee.	No posee.	\$900 - \$1,000

Nota. Elaboración propia

El apartado más significativo de AstroBot aparte de la capacidad inmersiva con respecto al espacio se enfoca en la sostenibilidad tecnológica por su plataforma, al ejecutar códigos y scripts de control directamente en almacenamiento local de la Raspberry Pi 5 y apoyarse del procesamiento del lenguaje natural mediante las plataformas Groq y Gemini para el uso de la IA garantizan la continuidad operativa a largo plazo, además la arquitectura modular del código permite que el sistema pueda reconfigurarse con otro enfoque, de este modo se protege la inversión del valor de \$824.00 USD ya que se entrega a la institución educativa una herramienta robusta, libre de mantenimientos recurrentes y tecnológicamente superior.

Discusión de los resultados

Con los resultados anteriormente estos se analizan e interpretan para verificar con el cumplimiento de los objetivos planteados de tal manera que permita evaluar que tenga un correcto desempeño y este enfocado a los temas de aprendizaje propuestos.

En primera parte, los resultados obtenidos de las pruebas de movimiento tanto de brazos y locomoción presentan un desempeño confiable y estable, responden de manera adecuada a las ordenes generadas mediante la aplicación móvil teniendo un porcentaje de funcionamiento del 84% lo cual es aceptable, además esta funciona de manera lenta por seguridad dado que opera en ambiente educativos.

En segunda parte, los resultados del software desarrollado para la interfaz gráfica tanto de la aplicación del robot y de la aplicación móvil muestran un funcionamiento y navegación estable desde el encendido del sistema hasta la ejecución de cada una de las diferentes actividades programadas en el robot. El tiempo promedio de ejecución de cada actividad es de 24 segundos; esto se debe a que la Raspberry debe contar con una correcta inicialización dado que al inicio hay consumo de recursos y necesita operar de manera eficiente para después ejecutar las actividades sin problema, aunque en actividades como la RA y la IA al presentar mayor procesamiento para inicializar las librerías y modelos tarda en responder.

Respecto a las pruebas realizadas a la RA se verifica que el sistema mantiene una estable detección del rostro y de la mano en cada una de sus respectivas actividades; sin embargo, a medida que la distancia aumenta la precisión de detección disminuye progresivamente, asimismo se ve afectado por variaciones significativas de iluminación, no obstante, dentro del área de trabajo en lo que corresponde con la interacción con el robot la actividad realizada tiene un desempeño adecuado.

Por otra parte, los resultados obtenidos con el asistente de inteligencia artificial demuestran que es capaz de operar con normalidad respondiendo de manera coherente con la pregunta que solicita el usuario. La consistencia de transcripción es del 83% debido a ruidos exteriores y al tono de voz empleado para realizar la pregunta, además el tiempo de respuesta tarda de acuerdo a la complejidad de la pregunta dado que debe analizar la pregunta y adecuarla a un entorno educativo, a pesar de esta variabilidad el comportamiento general del asistente es satisfactorio para ámbitos educativos.

La arquitectura híbrida implementada son fortalezas que destacan el sistema operativo dado que esta modularizada cada una de las actividades sobre la Raspberry Pi 5, esto permite reducir la carga computación y obtener una interacción más fluida para el usuario esto también favorece al consumo eléctrico dado que se evita un gasto de energía innecesario y se favorece a la duración de uso de la batería.

Con respecto a la validación del sistema, la evaluación técnica muestra un funcionamiento adecuado, reflejando un promedio general de 4,86 sobre 5. Los evaluadores destacaron la estabilidad estructural, sin embargo, los criterios relacionados con el movimiento de los brazos y la respuesta a los comandos de la interfaz obtuvieron una valoración menor con respecto a lo demás, lo que sugiere una ligera optimización para el funcionamiento del sistema. Por otro lado, la evaluación realizada por los docentes de Educación Inicial obtuvo un promedio de 4,96 sobre 5, lo que refleja una percepción muy positiva del sistema desarrollado, destacando la facilidad del uso de la aplicación, la claridad de la interfaz y la motivación que

genera en los estudiantes, además de aceptar como herramienta de apoyo para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, después de analizar los resultados técnicos y pedagógicos, es importante contrastar el desempeño de AstroBot frente al estado actual del mercado de la robótica educativa. Con un costo total de desarrollo de \$824.00 USD, el prototipo demuestra ser económicamente competitivo frente a alternativas comerciales de gama media como Embodied Moxie, UBTECH Alpha Mini o Nuwa Kebbi Air, cuyos valores oscilan entre los \$900 y \$1,000 USD.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones basadas en los resultados y objetivos del proyecto

Se logró diseñar e implementar un robot educativo que sería utilizado como herramienta de apoyo para la enseñanza de temas relacionados a la astronomía dirigido para los docentes de preescolar, ya que cuenta con actividades interactivas que generan un ambiente positivo de aprendizaje cuando el robot es utilizado en clases con los niños.

Se realizó un estudio del arte que permitió identificar el estado actual de la robótica educativa, la combinación de la realidad aumentada y la inteligencia artificial en procesos de enseñanza y aprendizaje, lo cual sirvió como base teórica y técnica para orientar el diseño y la construcción de AstroBot hacia una herramienta que integre experiencias inmersivas enfocado a temas científicos y espaciales.

Se diseñó el sistema mecánico, electrónico y de control del robot, obteniendo brazos articulados con un grado de libertad y ruedas de 70 mm de diámetro, dimensionadas para un manejo seguro y estable en el entorno educativo. Los análisis estructurales confirmaron la fiabilidad de estas piezas con un factor de seguridad superior a 15 en el eje de los brazos y de 2,27 en el acople de las ruedas bajo condiciones dinámicas. En el apartado electrónico y de control se usó una Raspberry Pi 5 que gestiona el movimiento de los servomotores y motores DC mediante los módulos PCA9685 y BTS7960, alimentados por una batería LiFePO4 de 12V-15Ah con una autonomía de 3,83 horas en uso continuo; para el apartado de experiencias inmersivas se incorporó un módulo proyector integrado en la cabeza del robot capaz de generar proyecciones de luces en forma de estrellas y de la luna sobre el entorno físico ampliando la interacción más allá de la pantalla táctil, la integración de estos subsistemas permitió obtener un diseño robusto, seguro y funcional orientado a fomentar el aprendizaje científico y espacial.

Se desarrolló la interfaz gráfica del robot integrando en una misma plataforma los módulos de guías audiovisuales, actividades recreativas, modo control, inteligencia artificial y realidad aumentada, facilitando al usuario una interacción intuitiva con el sistema. Las pruebas de software registraron un 100 % de éxito en el encendido e ingreso a la interfaz con un tiempo promedio de inicialización de 24,35 segundos y un 93,33 % de éxito en la navegación entre los diferentes módulos; estos resultados permiten concluir que la interfaz gráfica cumple con los requerimientos solicitados para su aplicación en el ámbito educativo.

Se implementaron los sistemas mecánicos, electrónicos, de control y de software diseñados, integrando en el robot los 4 motores DC JGB37-520, los 2 servomotores MG996R con brazos articulados de 0,213 kg cada uno, la Raspberry Pi 5 con los módulos PCA9685 y BTS7960, así como el asistente de IA y el módulo de RA dentro de la interfaz gráfica. El ensamble completo del robot resultó con una masa total de 7,8 kg y un costo de fabricación de \$824,00 USD confirmando la viabilidad técnica y económica del robot como una plataforma funcional.

Se realizó la validación y pruebas de funcionamiento del robot registrando 84 % de éxito en el movimiento de los motores DC, 89,33 % en el movimiento de los brazos con los servomotores y 88 % en la identificación de RA, mientras que la IA alcanzó un 83 % de efectividad en precisión de transcripción y calidad de respuesta. En el apartado de software la interfaz obtuvo un 100 % de éxito en el encendido y un 93,33 % en la navegación entre módulos. La evaluación técnica de docentes de Mecánica y Mecatrónica reflejó un promedio de 4,86/5, y la validación pedagógica de docentes de Educación Inicial, 4,96/5, confirmando que el robot satisface los requisitos establecidos para su empleo como recurso educativo interactivo.

Recomendaciones y trabajos futuros

Se recomienda que el robot permita la integración de actividades externas creadas por los docentes, por ejemplo, mediante una plataforma web o un editor de contenidos donde se puedan cargar preguntas, imágenes o temas personalizados con el fin de adaptar mejor el contenido de cada clase a las necesidades del grupo.

Se recomienda mejorar la autonomía del robot incorporando sistemas de navegación autónoma basados en sensores de percepción del entorno, como sensores ultrasónicos o infrarrojos para detección de obstáculos con el fin de que el robot pueda desplazarse e interactuar con mayor seguridad, evitando colisiones o caídas durante su uso en aulas con niños.

Se recomienda incorporar un arreglo de micrófonos direccionales junto con algoritmos de cancelación de ruido activo, ya que la variabilidad acústica y el ruido ambiental afectan la captación de la voz; esto permitiría mejorar la precisión del asistente de inteligencia artificial conversacional y reducir el tiempo de procesamiento durante la interacción.

Referencias

- Becerra Amaya, O. E. (2023). *Diseño de una aplicación basada en Realidad Aumentada para la enseñanza de inventos Tecnológicos mecanizados del siglo XXI a estudiantes de grado 8° de la IEIV*. <http://hdl.handle.net/11232/2236>
- Benítez Barro, A. C. (2025). Realidad aumentada e IA: el nuevo dúo dinámico para potenciar experiencias inmersivas de aprendizaje. *Reincisol.*, 4(8).
[https://doi.org/10.59282/reincisol.v4\(8\)3324-3340](https://doi.org/10.59282/reincisol.v4(8)3324-3340)
- Coronel Cárdenas, R. X., Vásquez Yanza, S. A., & Granda Roblez, J. J. (2023). *La robótica como herramienta educativa*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24917>
- da Silva Filgueira, M. G., & González González, C. S. (2017). *PequeBot: Propuesta de un Sistema Ludificado de Robótica Educativa para la Educación Infantil*.
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/6677>
- Esteve Mon, F. M., Adell Segura, J., Llopis Nebot, M. Á., Novella, G. V., & Aparicio, J. P. (2019). The development of computational thinking in student teachers through an intervention with educational robotics. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 18, 139–152.
<https://doi.org/10.28945/4442>
- Gallego Joya, L. (2024). Semillero de investigación en ciencia y tecnología Moralba. *MLS Inclusion and Society Journal*, 4(1).
<https://doi.org/10.56047/mlsisj.v4i1.2413>
- Gerosa, A., Koleszar, V., Gómez Sena, L. F., Tejera, G., & Carboni, A. (2019). Educational robotics and computational thinking development in preschool. *Proceedings - 14th Latin American Conference on Learning Technologies, LACLO 2019*, 226–230. <https://doi.org/10.1109/LACLO49268.2019.00046>

Gonzalez-Fernández, M. O., González-Flores, Y. A., & Muñoz-López, C. (2021).

Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(2).

https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2301

Lampropoulos, G. (2025). Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives. In *Multimodal Technologies and Interaction* (Vol. 9, Number 2).

<https://doi.org/10.3390/mti9020011>

Lancheros Bohorquez, W. F., & Vesga Bravo, G. J. (2025). Desarrollo del pensamiento crítico con IA, RA Y RV: una revisión sistemática. *Horizontes. Revista de Investigación En Ciencias de La Educación*, 9(40).

<https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v9i40.1173>

Latorre, I. N., Calcat, M. P., & Casals Espinosa, M. (2022). *Proyecto ROBOEDUCAT: Creación y aplicación de actividades STEM a partir del uso de robots Sphero y Ozobot* (REDINE, Ed.; Edunovatic2022 ed.). Adaya Press.

López Martín, E. C. (2024). *ROBÓTICA EDUCATIVA EN EDADES TEMPRANAS*. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/37991>

Manera, L. (2020). STEAM and educational robotics Interdisciplinary approaches to robotics in early childhood and primary education. In *Human-Friendly Robotics* (pp. 103–109). https://doi.org/10.1007/978-3-030-42026-0_8

Marín-Rodríguez, W. J., Andrade-Girón, D. C., Zúñiga-Rojas, M., Susanibar-Ramirez, E. T., Calvo-Rivera, I. P., Ausejo-Sanchez, J. L., & Caro-Soto, F. G. (2023). Artificial Intelligence and Augmented Reality in Higher Education: a systematic review. In *Data and Metadata* (Vol. 2). <https://doi.org/10.56294/dm2023121>

Meléndez Araya, N. M., & Velásquez Egafía, B. N. (2025). Uso de la Realidad Aumentada en primeros años de educación: Una mirada desde la literatura.

Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 33. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052025000100206>

- Merino-Armero, J. M., Villena-Taranilla, R., González- Calero Somoza, J. A., & Cózar-Gutiérrez, R. (2018). Análisis del efecto de la robótica en la motivación de estudiantes de tercero de Educación Primaria durante la resolución de tareas de interpretación de planos. *Revista de Estudios y Experiencias En Educación*, 2(2). https://doi.org/10.21703/rexe.especial3_201816317314
- Pasalidou, C., & Fachantidis, N. (2022). Contextualizing Educational Robotics Programming with Augmented Reality. *Proceedings of 2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network, ILRN 2022*. <https://doi.org/10.23919/iLRN55037.2022.9815969>
- Pérez-Acosta, G. X., & Mendoza-Moreno, M. Á. (2021). Robótica educativa: propuesta curricular para Colombia. *Educación y Educadores*, 23(4). <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.4.2>
- Pérez-Lisboa, S., Ríos-Binimelis, C. G., & ... (2020). Realidad Aumentada y simuladores: astronomía para niños y niñas de cinco años. In *ALTERIDAD*
- Pérez-Suay, A., García-Bayona, I., Van Vaerenbergh, S., & Pascual-Venteo, A. B. (2023). Assessing a Didactic Sequence for Computational Thinking Development in Early Education Using Educational Robots. *Education Sciences*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/educsci13070669>
- Quiroz Cárdenas, D. R., & Alcivar Cevallos, R. A. (2025). La aplicación de la inteligencia artificial generativa y realidad aumentada en la educación: una revisión sistemática de literatura. *Reincisol.*, 4(7). [https://doi.org/10.59282/reincisol.v4\(7\)919-945](https://doi.org/10.59282/reincisol.v4(7)919-945)

- Rissone, K. A., & Arruabarrena, V. M. (2024). Educational innovation with artificial intelligence and augmented reality. *EthAlca*, 3.
<https://doi.org/10.56294/ai2024107>
- Rojas, E. M., Valencia-Arias, A., Coronado, M. H. V., Gamarra, J. M. B., Agudelo-Ceballos, E., Benjumea-Arias, M. L., & Mori, L. V. (2025). Educational robotics for primary education: An analysis of research trends. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(3).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/16050>
- Santos, M. A. I. dos. (2016). *Utilização de Realidade Aumentada no Desenvolvimento de Software Educacional: um exemplo em alguns conceitos na Astronomia*.
<http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/366>
- Solís-Ortega, R., Calderón-Arce, C., Brenes-Torres, J. C., Chavez-Montoya, C., Luna Mejía, K., & Calderón Gairaud, J. P. (2025). Robótica educativa: Un estudio del estado del arte. *Revista Iberoamericana de Tecnología En Educación y Educación En Tecnología*, (40), e6. <https://doi.org/10.24215/18509959.40.e6>
- Soriano, J., & Jiménez, D. (2023). The advantages of using augmented reality as a pedagogical teaching resource. *Revista Innova Educación*, 5(2).
- Torres, N. B., González, R. L., & Carvalho, J. L. (2018). Roamer, un robot en el aula de Educación Infantil para el desarrollo de nociones espaciales básicas. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 28.
<https://doi.org/10.17013/risti.28.14-28>
- Trapero González, I., Romero Rodríguez, J. M., Fernandez, F., & Alonso García, S. (2025). Educational robotics and STEM competence in early childhood education: Systematic review and meta-analysis of programmes and outcomes. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal (KM&EL)*, 17, 71–87. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2025.17.003>

- Ulloa Flores, B. P. (2019). *Diseño, desarrollo y construcción de un robot educativo y un micro mundo lúdico interactivo para el rescate de valores culturales de los pueblos andinos*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16723>
- Villacrés, G. E. F., Sánchez, W. Y. M., López, J. F. V., Naranjo, F. P. B., & López, R. R. L. (2024). Realidad aumentada, inteligencia artificial, educación 4.0 y enseñanza. *Portal de Libros Cidepro Editorial*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Seguridad de los juguetes. Parte 1: Propiedades mecánicas y físicas (NTE INEN UNE-EN 71-1:2013).

Apéndices