

**Diseño e Implementación de un kit Mecatrónico de Bajo Costo para la Enseñanza STEM,
Dirigido a Estudiantes del Aula de Sordos de la Institución Educativa José Celestino Mutis
de Fusagasugá**

Cristian Acevedo, Daniel Sánchez, Juan Romero

Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

Proyecto de Grado

Ing. Lina Chacón

Agosto 2025

Resumen Ejecutivo

El proyecto se basa principalmente en el desarrollo y diseño de un kit mecatrónico orientado a la enseñanza STEM de muy bajo costo, que es dirigido a estudiantes sordos de la Institución Educativa José Celestino Mutis de Fusagasugá, por el cual se incentiva contrarrestar la brecha educativa y sensorial que enfrentan estos estudiantes al implementar recursos pedagógicos multisensoriales, visual y táctil, que permitan comprender principios básicos de mecánica, electrónica y programación sin depender de la instrucción auditiva., utilizando una herramienta bastante práctica y lúdica, despertando el interés de los chicos por temáticas fundamentales de la mecatrónica como la electrónica, mecánica y la programación. No sólo se facilita el entendimiento de conceptos fundamentales o primordiales con este kit, además estimula la creatividad y el pensamiento crítico, al ser un dispositivo de bajo costo y mucha accesibilidad, se fomenta tanto la inclusión social como una forma de acercarse al vasto mundo tecnológico, despertando de esta manera, el deseo por el conocimiento de diferentes temas que les serán de mucha ayuda tanto en entornos académicos, profesionales y personales próximamente.

El kit incluye cuatro dispositivos interactivos (una máquina mecánica, una interfaz visual para dos jugadores, un controlador con sensores y actuadores, y un generador de energía portátil) diseñados para ser seguros, fáciles de usar e intuitivos. El proyecto prioriza materiales de bajo costo y prácticas respetuosas con el medio ambiente (PLA), garantizando la reproducibilidad y la inclusión social. Se llevará a cabo un taller en el aula para evaluar y motivar la comprensión de los estudiantes sordos sobre los conceptos STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) y su relevancia educativa, en colaboración con docentes de educación especial y/o intérpretes de lengua de señas.

El proyecto responde a la necesidad de acceso a recursos tecnológicos en instituciones de bajos recursos y al marco legal para la educación inclusiva en Colombia. Ofrece una solución accesible que promueve el interés por la tecnología y el desarrollo de habilidades del siglo XXI entre poblaciones históricamente marginadas.

Palabras clave: Kit Mecatrónico, Educación STEM, Inclusión social, Aprendizaje, Creatividad.

Introducción

La ingeniería mecatrónica es una disciplina clave en el desarrollo de tecnologías modernas y también de mantenerlas en óptimas condiciones al integrar la mecánica, la electrónica, el control y la programación en la creación de sistemas automatizados. No obstante, en Colombia el acceso a estos estudios aun es limitado, más en los niveles escolares básicos, donde los estudiantes no pueden interactuar con experiencias educativas centradas en la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Los países que han fortalecido sus sistemas educativos centrándose en el STEM han logrado avances significativos en innovación, competitividad y preparación de talento humano (UNESCO, 2025), y esta limitación se agrava cuando se trata de estudiantes con discapacidad auditiva, quienes enfrentan barreras comunicativas que reducen su participación en metodologías basadas en la oralidad.

Uno de los métodos utilizados para ofrecer una educación centrada en STEM es el uso de kits educativos, ya que representan una forma sencilla y práctica de brindar experiencias de aprendizaje significativas. En este contexto, el presente proyecto responde a esa necesidad y propone un kit educativo enfocado en la educación STEM, con énfasis en la mecatrónica. El kit será diseñado y construido con un enfoque de bajo costo, de manera que pueda ser accesible para estudiantes de escasos recursos, especialmente aquellos que tienen discapacidad auditiva. Esto permitirá integrar de forma eficaz los fundamentos de la mecatrónica en su proceso de aprendizaje.

Objetivos de Investigación

General

Desarrollar un kit mecatrónico de bajo costo para la enseñanza STEM, con el fin de introducir de manera integral los conceptos de mecánica, electrónica, programación y control a estudiantes del Aula de Sordos de la Institución José Celestino Mutis de Fusagasugá, fomentando su interés y curiosidad por la mecatrónica a una edad temprana.

Específicos

Investigar las características clave de los sistemas mecatrónicos y los enfoques pedagógicos STEM para identificar los elementos más atractivos y didácticos, aplicando estos hallazgos en el diseño del kit, con el propósito que el proyecto promueva de manera efectiva la mecatrónica en los estudiantes siendo un recurso innovador y motivador.

Construir un prototipo funcional del kit mecatrónico que integre los componentes mecánicos, electrónicos y de programación definidos en el diseño, asegurando que su ensamble sea intuitivo, seguro y de bajo costo para su uso.

Validar la efectividad y didáctica del kit a través de un proceso de prueba y retroalimentación, con el propósito de asegurar que el contenido sea comprensible y atractivo, realizando su comprobación con estudiantes del Aula de Sordos de la Institución José Celestino Mutis de Fusagasugá.

Descripción del Problema

La ingeniería mecatrónica es una disciplina que integra mecánica, electrónica, control y programación para diseñar y operar sistemas automatizados, por lo que, requiere conocimientos en robótica, IA, circuitos y otras disciplinas que en la actualidad se encuentran en auge, sin embargo, esto se ve sobre todo en el ámbito internacional ya que según el Government AI Readiness Index (2024) liderado por Oxford Insights, una medición que tiene como objetivo puntuar a los países con relación a su disposición para aplicar inteligencia artificial en la prestación de servicios públicos, Colombia se encuentra ubicado en la posición 55, con una baja calificación en madurez en infraestructura.

En comparación con Sudamérica, Colombia se encuentra por debajo de Uruguay (47), Chile (44) y Brasil (36). Es por esto que, se debe seguir fortaleciendo y enseñando el uso de nuevas tecnologías dentro de la rama de la electrónica, automatización y control en Colombia, incluso desde niños, por ejemplo, desde la mecatrónica se traduce en aprender cómo funcionan los sensores, actuadores y controladores mediante proyectos prácticos, un ejemplo claro de esto es makeblock que vende kits robóticos que empoderan a los usuarios para aprender, crear e innovar a través de soluciones educativas STEM que fomentan una mentalidad de crecimiento en la próxima generación de solucionadores de problemas mediante el desarrollo de habilidades esenciales para estudiantes (Makeblock, s.f.).

En el marco del enfoque educativo STEM para Colombia se busca que los niños de las diferentes instituciones educativas aprendan con mayor facilidad la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas desde el aprendizaje activo con el fin de que puedan resolver de

manera sencilla los desafíos que los avances tecnológicos proponen (Colombia Aprende, s.f.). Esto requiere preparación de los docentes y motivación hacia los estudiantes que deben encontrar en las ciencias una visión global de innovación y desarrollo tecnológico que les permita transformar su vida y desarrollar creatividad.

A pesar de existir una política educativa, en colegios de bajos recursos no se logra este objetivo, la ausencia de preparación y la dificultad para acceder a la tecnología es un reto diario, así como innovar en las clases para que los estudiantes aprendan de manera inmersiva (Martínez & González, 2022). Esta situación hace parte del día a día del colegio José Celestino Mutis que no cuenta con los recursos necesarios para generar enseñanza desde el modelo STEM que incentive la creatividad de los estudiantes ya que no tiene los suficientes recursos para la adquisición de dispositivos electrónicos que permitan estudiar los avances en robótica y sensoria básica, tampoco se tiene certeza de cómo deben ser estos dispositivos y cómo usarlos para incentivar la curiosidad y el interés por las ciencias y las matemáticas en los estudiantes y esta brecha se amplía aún más para los estudiantes con discapacidad auditiva, quienes frecuentemente experimentan dificultades de acceso, permanencia y participación plena en ambientes de aprendizaje tradicionales, debido a barreras comunicativas, pedagógicas y de accesibilidad (Fundación Saldarriaga Concha y Laboratorio de Economía de la Educación, 2023).

Este proyecto presenta entonces una solución adecuada al problema mencionado ya que se va a desarrollar un kit a partir de la enseñanza mecatrónica desde el modelo STEM para niños del Aula de Sordos, para incentivar el diseño de soluciones tecnológicas accesibles y fortalecer la innovación que permita superar las barreras de educación sensorial en Colombia.

Justificación

En Colombia, la educación en colegios técnicos públicos como la Institución José Celestino Mutis enfrenta obstáculos debido a la falta de recursos y currículos actualizados para enseñar ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). La formación tecnológica se limita a conceptos básicos en grados superiores, sin incluir áreas cada vez más importantes como la robótica y mecatrónica. Esta brecha dificulta que, en alumnos sordos, puedan desarrollar su creatividad e interés por la ingeniería; así pues, se ve limitado su acceso temprano a saberes esenciales donde sus posibilidades académicas y profesionales se disminuyen (Rico et al., 2017).

Esta iniciativa pretende solucionar este problema mediante el diseño y la creación de un kit mecatrónico asequible, basado en la teoría del aprendizaje experiencial (Kolb & A, 1984) y el aprendizaje a partir del juego. En contraste con los métodos convencionales, este kit posibilita que los alumnos sordos aprendan de manera práctica y divertida. El kit convierte el aprendizaje en una actividad que motiva y es intuitiva, gracias a su sistema de ensamblaje con imanes y sus tres modos de comportamiento para electrónica, programación y mecánica. Esta perspectiva no sólo imparte las bases de la mecatrónica, sino que además promueve el desarrollo de competencias del siglo XXI, como la resolución de problemas y el pensamiento crítico (Acuña et al., 2021).

El proyecto tiene un impacto significativo en términos sociales. La institución José Celestino Mutis ofrece sus servicios a alumnos que pertenecen a los estratos 0 a 3, es decir aquellos con recursos limitados para acceder a tecnologías caras. Un kit de bajo costo es un instrumento para la inclusión social que proporciona una oportunidad a los jóvenes de examinar y desarrollar su potencial en áreas tecnológicas que, de otro modo, estarían fuera de su alcance (Rivas et al., 2019).

Este proyecto representa una oportunidad única para que los diseñadores desarrollen y apliquen habilidades en ingeniería mecatrónica, gestión de proyectos y diseño de productos. Cuando se enfrentan al desafío de crear un kit que sea seguro, práctico y asequible, deben innovar y optimizar el uso de los recursos; esto mejora su capacidad para resolver problemas y su pensamiento crítico. Asimismo, al colaborar con la Institución José Celestino Mutis, obtienen una experiencia inestimable en el uso de la ingeniería para crear un verdadero impacto social, conectando su labor técnica con una causa relevante y significativa para el entorno local.

La urgencia de actualizar la educación tecnológica en las entidades públicas, la eficacia probada del aprendizaje a través de experiencias y la responsabilidad ética de brindar a los niños con pocos recursos y con discapacidades las mismas oportunidades educativas que sus compañeros son los motivos por los cuales se justifica. El proyecto no sólo presenta a los alumnos la mecatrónica de manera práctica al elaborar un kit accesible, sino que además promueve el desarrollo de habilidades esenciales para su futuro y les brinda un camino hacia su crecimiento profesional y personal.

Análisis de Requerimientos

Comprender los fundamentos del proyecto en cuanto a diseño, alcance de la solución y necesidades del usuario requiere un análisis de requisitos. Es indispensable para entender qué es lo que requiere el usuario y cómo se puede cumplir con sus necesidades. Se describen a continuación los requisitos que serán provechosos para la validación, implementación y desarrollo del proyecto.

Intención del Producto

Descripción del producto

Qué es. Un kit mecatrónico educativo compuesto por cuatro dispositivos interactivos, diseñado con enfoque STEM para estudiantes del Aula de Sordos de la Institución José Celestino Mutis de Fusagasugá.

Problema que resuelve / necesidad. Brinda una herramienta práctica y experimental para introducir a los estudiantes sordos en la mecatrónica, priorizando la experimentación, el juego y el aprendizaje activo sobre la teoría.

Entorno de operación. Uso en aulas escolares y laboratorios educativos, en condiciones seguras para niños (componentes plásticos, ensamblajes sin tornillos ni pegantes, interfaces sencillas).

Funciones / Características clave (4 dispositivos).

Autómata tipo caballo (Theo Jansen).

- Base plástica impresa en 3D.

- Ensamblaje modular mediante piezas con imanes (sin tornillos ni pegamento).
- Movimiento mecánico generado por una manivela/pedal.
- Permite observar principios básicos de cinemática.

Juego interactivo con pantalla OLED.

- 4 botones (Binario 0, Binario 1, Reset, Set) y pantalla LCD (Liquid Crystal Display).
- Escritura de letras mediante código binario de 5 dígitos (ejemplo: A=00001, B=00010, etc.).
- Visualización en la pantalla LCD de la letra correspondiente al código ingresado.
- Fomenta la comprensión de la base de la programación a través del sistema binario.

Módulo de control industrial simplificado.

- Plataforma con compartimentos para batería, sensores y actuadores.
- Conexión rápida mediante imanes.
- Incluye 3 sensores (luz, sonido, movimiento) y 2 actuadores (LED (Light-Emitting Diode), motor con aspas).
- Los estudiantes pueden experimentar configuraciones libres para activar salidas según estímulos.

Generador manual de electricidad

- Palanca conectada a un motor reductor.
- Permite encender un bombillo o cargar un celular mediante energía generada manualmente.
- Enseña conceptos básicos de conversión de energía mecánica a eléctrica.

Objetivos del producto

Desarrollar y aplicar una sesión práctica de 2 horas con el kit mecatrónico en la Institución Educativa José Celestino Mutis, dirigida a los estudiantes del Aula de Sordos, antes de la fecha de sustentación del proyecto de grado.

Lograr que al menos el 70% de los estudiantes participantes identifiquen correctamente 2 conceptos básicos de mecatrónica (ejemplo: cinemática y transformación de energía) al finalizar la sesión.

Construir el kit con materiales de bajo costo (PLA, sensores y actuadores básicos), manteniendo un costo total de producción menor a \$400.000 COP por kit.

Usuarios Finales

Usuarios primarios. Estudiantes del Aula de Sordos de la Institución José Celestino Mutis.

Usuarios secundarios. Docentes acompañantes y personal de apoyo académico.

Volumen de uso / frecuencia. Una sesión de aplicación práctica dentro del proyecto de grado.

Nivel de experiencia / entrenamiento. No requieren conocimientos previos en mecatrónica.

Requisitos de accesibilidad / idioma. Interfaces simples, lenguaje en español, componentes seguros para niños.

Verificación de Parámetros de Diseño

Normativas y Estándares Aplicables

Seguridad Eléctrica Infantil.

- NTC 5729: (Colombia, equivalente a IEC 62115): Seguridad de los juguetes eléctricos.
- NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano, basada en la NEC, que regula instalaciones y prácticas seguras en baja tensión.
- IEC 61140: Protección contra choque eléctrico.

Materiales y Componentes.

- RoHS (internacional): Restricción de sustancias peligrosas en componentes electrónicos (libre de plomo, mercurio, cadmio).
- NTC-ISO 14001: Gestión ambiental en materiales y procesos, importante por el uso de PLA (biodegradable).
- NTC-ISO 14040: Es útil para evaluar los materiales como el PLA, considerando su impacto desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

Uso educativo y seguridad infantil.

- NTC-EN 71-1:2014: Seguridad de juguetes mecánicos y plásticos para niños.

Restricciones Técnicas

Voltajes de operación.

- Autómata: 0V (movimiento totalmente mecánico).
- Módulo programación binaria (LCD + ESP): 5V regulados con 7805 y dos baterías 18650.

- Módulo control automatizado: 5V (posible uso de 9V si el motor requiere más torque).
- Generador de energía: máx. 6V según RPMs (en la práctica ~4.5V, suficiente para LEDs o carga ligera).

Seguridad. Todos los bordes de las piezas 3D en PLA deben ser redondeados para evitar cortes.

Conectividad magnética. Debe garantizar firmeza, evitando piezas pequeñas que puedan soltarse (riesgo de ingestión en niños).

Factibilidad Técnica.

Costo bajo. PLA y componentes electrónicos económicos (sensores, actuadores, microcontroladores).

Disponibilidad. Todos los materiales y componentes se consiguen en el mercado local (Colombia).

Escalabilidad. Diseño modular y replicable para otros colegios.

Estimación de Características de Diseño

Potencia

El kit está alimentado por dos baterías 18650 en configuración en serie, con un voltaje nominal de 7.4V y un máximo de 8.4V en carga completa. El suministro se regula a 5V mediante un regulador lineal 7805, el cual garantiza la correcta operación de los módulos electrónicos.

El consumo estimado de los componentes es el siguiente:

- Pantalla LCD (16x2): entre 10 y 30mA.
- Microcontrolador (ESP32/ESP8266/ARDUINO UNO): entre 50 y 300 mA según el modo de operación.
- Sensores de luz, sonido o movimiento: entre 5 y 30 mA cada uno.
- Motor de corriente continua de bajo consumo: entre 50 y 300 mA en operación, con picos mayores al arranque.
- Generador manual: produce un voltaje promedio de 4.5V bajo condiciones normales de giro, alcanzando hasta 6V en condiciones de alta velocidad.

Con baterías de 3000 mAh, la autonomía del kit se estima suficiente para una jornada académica de dos horas sin necesidad de recarga.

Desempeño

Cada módulo del kit posee indicadores de desempeño definidos de la siguiente manera:

- Autómata mecánico: debe ejecutar un ciclo de movimiento continuo con un mínimo de una repetición por segundo, sin presentar atascos durante al menos 100 ciclos consecutivos.
- Juego binario (pantalla LCD + botones): el tiempo de respuesta desde la activación del botón “Set” hasta la visualización de la letra en pantalla no debe superar los 2 segundos.
- El reconocimiento de secuencias binarias debe alcanzar al menos un 95% de precisión en pruebas con estudiantes.

- Módulo de control automatizado: los sensores deben reaccionar en menos de 500 ms frente a estímulos y activar el actuador correspondiente. La reconexión de bloques magnéticos debe restablecer la funcionalidad en un tiempo inferior a 10 segundos.
- Generador de energía: debe encender un diodo LED con un tiempo de giro manual inferior a 5 segundos y producir un voltaje promedio de 4.5V en condiciones de uso normal.

Durabilidad

Las piezas estructurales impresas en PLA deben contar con espesores mínimos de 3 mm en zonas críticas y refuerzos en puntos de tensión. Se estima una vida útil de un año para uso escolar ocasional, y de seis meses en condiciones de uso intensivo.

La electrónica (placas de desarrollo, pantalla LCD, sensores y actuadores) presenta una vida útil estimada superior a dos años bajo un uso moderado. En cuanto a los imanes de neodimio empleados en la fijación de bloques, se recomienda el uso de recubrimientos anticorrosión y fijaciones seguras para evitar desprendimientos.

Costos

La estimación de costos se realizó a partir de precios promedio en el mercado colombiano, tomando en cuenta componentes básicos y materiales en impresión 3D:

- Filamento PLA 1kg: COP 85.000.
- Placa de desarrollo (ESP8266/ESP32/ARDUINO UNO): COP 35.000.
- Pantalla LCD: COP 25.000.
- Baterías 18650 (par) + porta baterías: COP 45.000.
- Regulador 7805: COP 2.000.

- Motor DC pequeño: COP 10.000.
- Imanes de neodimio: COP 30.000.
- Sensores (luz, sonido, movimiento): COP 10.000 cada uno.
- Elementos adicionales (botones, cables, resistencias, LED, protoboard): COP 20.000.
- El costo total estimado por kit se encuentra entre COP 200.000 y 285.000 dependiendo de la selección de microcontrolador, baterías y cantidad de sensores incluidos.

Alcance de la Solución de Ingeniería

Definición de alcance

El proyecto contempla el diseño, construcción y validación de un kit mecatrónico compuesto por cuatro dispositivos con enfoque educativo STEM. El alcance se limita a la implementación piloto en la Institución José Celestino Mutis, dirigida al Aula de Sordos.

El desarrollo se centrará en:

- La fabricación de estructuras en PLA mediante impresión 3D.
- La integración de componentes electrónicos de bajo coste (sensores, actuadores y microcontroladores).
- La validación pedagógica del kit es una única sesión práctica con estudiantes, con el objetivo de evaluar su funcionalidad, seguridad y pertinencia didáctica.
- La documentación técnica y académica del proyecto como parte del trabajo de grado.

- No se contempla en esta fase la producción en serie ni la distribución comercial del kit, aunque se deja abierta la posibilidad de futuras escalas de implementación.

Recursos Necesarios

Recursos humanos.

- Estudiantes de ingeniería responsables del diseño y desarrollo del kit.
- Docente tutor encargado de la supervisión académica y metodológica.
- Profesor del colegio facilitador de la sesión de prueba.

Recursos Materiales.

- Impresora 3D y filamento PLA.
- Componentes electrónicos (microcontroladores, pantallas LCD, sensores, actuadores, baterías, reguladores y accesorios).
- Herramientas de laboratorio (soldador, multímetro, protoboard, cables, etc.).
- Software de diseño CAD y entorno de programación para microcontroladores.

Recursos Financieros

- Presupuesto estimado entre COP 200.000 y 280.000 por kit, de acuerdo con la selección de componentes.

Validación y Verificación

Pruebas Iniciales

En primera medida, cada módulo del kit será sometido a pruebas individuales con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. Estas pruebas incluirán:

- Verificación de encendido, respuesta de botones, visualización en pantallas y lectura de sensores.
- Comprobación de conexiones eléctricas y niveles de voltaje en los circuitos.
- Ensayos mecánicos básicos sobre las piezas impresas en PLA para confirmar su resistencia al uso infantil.
- La validación inicial permitirá detectar posibles fallos de diseño o integración antes de realizar el ensamblaje final.

Revisión de Diseño

Después de las pruebas iniciales, se realizará una revisión de diseño orientada a evaluar:

- La ergonomía de los módulos y su facilidad de manipulación por estudiantes de grado cuarto.
- La claridad de las instrucciones de uso y la intuitividad de las actividades.
- La seguridad eléctrica y mecánica, reduciendo riesgos asociados al manejo inadecuado de los dispositivos.
- En esta etapa se contempla la retroalimentación de docentes y tutores del proyecto para realizar ajustes de carácter pedagógico y técnico.

Pruebas Finales

Luego como parte final, el kit será validado de manera integral a través de una implementación piloto en un entorno real de aula. Durante la sesión de prueba se evaluarán los siguientes aspectos:

- Funcionamiento coordinado de todos los módulos como un sistema integrado.

- Nivel de interacción y motivación de los estudiantes frente a los retos propuestos.
- Respuesta del kit bajo condiciones reales de uso, considerando tanto la dinámica del juego como el tiempo disponible en clase.
- La verificación se completará mediante observación directa, registros fotográficos, encuestas cortas a estudiantes y docentes. Los resultados se estudiarán para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos planteados y la adecuación del kit como herramienta didáctica.

Marco de Referencias

Marco conceptual

Educación STEM en primaria

La educación STEM se define como el aprendizaje en los campos de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (por sus siglas en inglés), el enfoque STEM fue tomando fuerza principalmente en Estados Unidos, debido a la necesidad de fortalecer el conocimiento en disciplinas tecnológicas y científicas para que las nuevas generaciones desarrollen habilidades como creatividad, innovación, autonomía, criticidad y también, tengan un rol participativo en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Molina, 2023). Entendiendo el significado de la educación STEM, es importante desarrollar estas habilidades en estudiantes, sin embargo, es necesario saber desde qué edades es importante aplicar esta educación. Para esto, Toma y Dufranc (2016) proponen el modelo de educación STEM específicamente para la educación primaria, destacando la importancia de la integración de estas áreas como fundamenta para el desarrollo integral del estudiante desde temprana edad. Y no se destaca únicamente desde la integralidad de estudiante pues también funciona como motivación, pues, la robótica educativa

y simulaciones digitales son herramientas que despiertan efectivamente el interés en los niños, permitiéndoles aprender mediante la experimentación práctica y siendo relevante para la vida real (Espinosa, 2024). Y por último los resultados refuerzan la relevancia de este método pues estudios demuestran que hasta un 85% de los estudiantes mejoraron su comprensión de conceptos científicos (Viera & Magana, 2021), mientras que, un 75% incrementaron significativamente sus habilidades para resolver problemas y de pensamiento computacional, todo esto basado en herramientas de simulación y aprendizaje en robótica (Parra & Penagos, 2021).

Estos estudios demuestran la importancia de seguir fortaleciendo el modelo de educación STEM, pues fortalece habilidades cruciales para las nuevas generaciones, sin embargo, con la importancia de destacar desde qué edades se puede aplicar este método, jugando un papel clave, la enseñanza primaria, donde a partir de la curiosidad y la diversión de los niños se encuentra la motivación a través de la enseñanza STEM, siendo clave para entender el objetivo de nuestro proyecto y las edades escogidas.

Mecatrónica en la educación

Entendiendo nuevamente la mecatrónica desde un enfoque interdisciplinar que integra mecánica, electrónica, programación y control, es importante indagar sobre su funcionamiento con fines pedagógicos en la educación, pues desde la robótica ha demostrado ser eficaz para motivar a los estudiantes en áreas STEM, fortaleciendo sus habilidades de colaboración, creatividad y pensamiento computacional, y destacando que la integración de robots en actividades educativas incrementa el interés por las materias STEM además de su participación

activa en clase; fomentando sobre todo, estas actividades en materias como física y matemáticas con el objetivo de potenciar su creatividad (Mwangi et al., 2022). Pero como se mencionó antes, según Screpanti & Scaradozzi (2024) también permite introducir nociones de control, automatización y sistemas desde primaria, lo que fomenta la resolución de problemas y el pensamiento crítico, demostrando que, los estudiantes de primaria adquirieron conocimientos en la comprensión de principios de programación básica y en entender cómo añadir sensores, motor, batería. Sin embargo, la implementación de la robótica educativa plantea varios retos pues también se encuentra relacionada a cuestiones de profesores, accesibilidad y recursos (Fitria, 2024).

Teniendo en cuenta las fuentes anteriores, indican que se encuentra una oportunidad de enseñanza clave a través de la mecatrónica educativa, pues al complementarse con el enfoque STEM, se genera una sinergia que causa en los estudiantes la motivación de la que ya se había hablado, pero también con la adquisición de conocimientos básicos en programación y manejo de actuadores y controladores. Por lo que, se indica que el objetivo del proyecto en la edad que se planteó es importante y se puede llevar a cabo, sin dejar de lado los retos que esto requiere.

Kits educativos

La idea principal de los kits educativos es que los niños sean protagonistas en actividades de ensamblaje, programación y experimentación (Fitria, 2024). Los kits existentes están diseñados bajo principios constructivistas, lo que potencia el aprender a través de la experiencia, armar algo con sus propias manos, y así construir el conocimiento a través de esta interacción con objetos tangibles, y aunque, se identifica un grupo de edad aconsejable en cada kit no se

considera un criterio eficaz, pues depende del interés de cada alumno por aprender a partir de sus conocimientos previos. (Evripidou et al., 2020). Aunque existen varios ejemplos de kits, muchos se enfocan en la educación secundaria o mayor, a excepción de de “Beebot” el cual, a diferencia de los otros kits, tiene una apariencia semejante a un juguete en forma de abeja y sirve para enseñar nociones introductorias de control, ilustra el lenguaje direccional y el seguimiento de pasos en la resolución de problemas, como en un laberinto. Sin embargo, el mBot de “Makeblock” también es un ejemplo para seguir en los kits educativos y puede ser usado en educación primaria, pues tienen cursos que enseñan su funcionamiento desde cero (Karalekas et al., 2020).

Los kits existentes demuestran una oportunidad mediante su implementación en la educación, demostrando su eficiencia y que no es necesario dividir en grupos de edades sino basarse en el interés de los estudiantes, y, asimismo motivarlos a entrañarse en el mundo de la robótica. Teniendo en cuenta los ejemplos mencionados, surge una oportunidad de mejora y avance para la implementación de kits robóticos educativos en Colombia, potenciando la educación mecatrónica para el futuro.

Marco Legal

Normas Técnicas y de Seguridad Aplicables. Las siguientes son normas técnicas utilizadas mayormente en Colombia, vigiladas por la entidad ICONTEC, adicionalmente algunas de ellas también tienen referencias internacionales provenientes de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Restricción de Sustancias Peligrosas (RoHS).

Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050). Constituye la referencia nacional para instalaciones y prácticas seguras en baja tensión. Para proyectos con componentes eléctricos en entornos educativos, se recomienda cumplir las exigencias de seguridad eléctrica establecidas en esta norma y las guías técnicas asociadas.

Normas sobre seguridad de juguetes / equipos para niños (NTC-EN 71 y NTC relacionadas). Ya que los dispositivos serán manipulados por niños, es recomendable seguir criterios de la familia EN 71 (seguridad mecánica, física y de actividades) adoptadas como NTC por ICONTEC; estas normas aportan pruebas y requisitos sobre aristas, tamaños de piezas, resistencia mecánica y proyectiles, útiles para evaluar riesgos de ingestión o atrapamiento.

Normas y guías internacionales de seguridad eléctrica (IEC 61140). Constituye principios de protección contra choques eléctricos que pueden usarse como base técnica para dimensionar protecciones y aislamientos en el diseño. ICONTEC publica adopciones y guías sobre normas IEC aplicables en Colombia.

RoHS (referencia para selección de componentes). Para minimizar sustancias peligrosas en componentes electrónicos se recomienda la adquisición de componentes con cumplimiento RoHS, práctica que reduce riesgos asociados a materiales tóxicos.

Regulaciones y Normas Colombianas.

Norma ISO 14001: 2015 (Gestión ambiental). Establece lineamientos para la implementación de sistemas de gestión ambiental, incentivando el uso de materiales sostenibles y procesos responsables con el medio ambiente.

Ley 2232 de 2022. Regula la reducción progresiva de plásticos de un solo uso y fomenta alternativas sostenibles como el PLA biodegradable.

Resolución 803 de 2024. Reglamenta la Ley 2232, promueve la economía circular y el ecodiseño en productos educativos y tecnológicos.

Ley 1480 de 2011 – Estatuto del Consumidor. garantiza la seguridad de los productos ofrecidos a los usuarios, aplicable a dispositivos electrónicos utilizados en entornos escolares.

Decreto 1078 de 2015. Establece lineamientos para la incorporación de tecnologías en procesos educativos, promoviendo la innovación y el acceso a herramientas digitales.

Resolución 180540 de 2010. Regula el uso seguro de aparatos eléctricos y electrónicos en baja tensión, aplicable al diseño de circuitos escolares que no superen los límites establecidos.

Aplicación Práctica en el Proyecto.

Para la implementación piloto en la Institución Educativa ITI se recomienda:

Documentar las medidas de seguridad eléctrica (aislamientos, cubiertas, fusibles, portabaterías protegidos) conforme a NTC 2050 y buenas prácticas.

Diseñar los ensambles mecánicos siguiendo criterios de seguridad de la familia EN 71 (tamaños de piezas, ausencia de aristas cortantes, fijaciones seguras).

Marco Contextual

En la Institución José Celestino Mutis de Fusagasugá se realiza este proyecto, que está ubicado en el municipio que lleva el mismo nombre, en Cundinamarca. Este colegio público se

centra en alumnos de niveles socioeconómicos bajos (0 a 3), lo que restringe su acceso a recursos tecnológicos actualizados y obstaculiza la aplicación de metodologías de educación que incorpore matemáticas, ingeniería, la ciencia y la tecnología (STEM). Con respecto al contexto geográfico, Fusagasugá es un municipio que se encuentra en Cundinamarca, a 59km de la ciudad de Bogotá. Su economía, que se apoya en el comercio, la agricultura y los servicios, les ofrece oportunidades; sin embargo, también enfrenta retos en cuanto a capacitación en competencias digitales y actualización tecnológica. La institución educativa, juega un papel crucial en preparar a los estudiantes para una formación técnica y tecnológica relevante.

Históricamente, la educación técnica en Fusagasugá ha buscado fortalecer las habilidades prácticas de los estudiantes, aunque, la inclusión de áreas como mecatrónica, robótica y programación aún está en sus primeras etapas, donde a nivel nacional, los esfuerzos por implementar el enfoque STEM en colegios públicos se han visto limitados por la falta de infraestructura y formación docente. Por lo que, en este contexto, los kits educativos de bajo costo emergen como una alternativa innovadora para cerrar la brecha tecnológica y ofrecer a los estudiantes experiencias de aprendizaje significativas.

El desarrollo de los medios educativos STEM ha dado un giro interesante, pasando de métodos tradicionales que se enfocaban en la teoría a recursos más prácticos e interactivos. A nivel global, la robótica educativa y kit como LEDO Mindstorms y Makeblock han sido un verdadero parteaguas, ofreciendo experiencias de aprendizaje que combinan mecánica, electrónica y programación (Makeblock, s. f.). En América Latina, han surgido iniciativas de bajo costo que han demostrado cómo estas herramientas pueden promover la inclusión social y despertar el interés por la ciencia y la tecnología (Rivas, Soto & Pavez, 2019). En Colombia, aunque la implementación ha sido algo limitada por la falta de infraestructura, programas como

Colombia Aprende han estado trabajando para integrar el enfoque STEM en la educación primaria, utilizando metodologías activas y materiales innovadores (Colombia Aprende, s. f.).

En el ámbito social, la mayoría de los estudiantes de la institución provienen de familias de bajos ingresos, lo que complica el acceso a dispositivos tecnológicos o kits comerciales de robótica y programación, que suelen ser bastante costosos. Por lo tanto, un kit mecatrónico de bajo costo se convierte en una herramienta de inclusión social, permitiendo que niños de cuarto grado se acerquen a la ciencia y la tecnología desde una edad temprana.

Análisis de restricciones

Ambientales

El uso de ácido poli láctico (PLA) en la fabricación del kit mecatrónico se constituye en una alternativa ambientalmente responsable, ya que según Hussain Et al.. (2024) el PLA es un polímero derivado de fuentes naturales como el maíz, la caña de azúcar y la remolacha. A diferencia de otros plásticos derivados del petróleo, este presenta propiedades de biodegradabilidad y compatibilidad en condiciones industriales controladas, ya que, puede descomponerse en agua, para disminuir su subsistencia en el medio ambiente y reduciendo la generación de micro plásticos de larga duración.

Económicas

Una de las restricciones principales a mantener es el costo del kit por debajo del presupuesto estipulado en los requerimientos (400000 COP), también, respondiendo al objetivo

de garantizar su implementación en instituciones educativas públicas de bajos recursos para quienes el acceso a dispositivos didácticos de alta tecnología suele ser limitado por su elevado precio en el mercado.

Legales

El kit está sujeto a un conjunto de restricciones legales que condicionen el diseño, la fabricación y su uso en diferentes contextos. Como se mencionó en el marco de referencia, se debe cumplir con la norma NTC 2050 y también IEC. Las cuales establecen los lineamientos de seguridad eléctrica para prevenir riesgo de electrocución o fallas en sistemas de baja tensión. Además, al tratarse de un producto pedagógico que va a estar al contacto con niños, se tiene que ajustar a la norma NTC-EN 71, regula la seguridad de los juguetes en aspectos como resistencias, limitación del tamaño y ausencia de bordes cortopunzantes. Por otro lado, complementando las restricciones ambientales mencionadas la adición del PLA como alternativa biodegradable, responde a la ley 2232 de 2022 que establece la reducción progresiva en el uso de plásticos de un solo uso.

Salud y seguridad

El diseño del kit debe cumplir con el limitante establecido para el uso de bajo voltaje (máximo 9V) para prevenir riesgos de electrocución. Además, las piezas fabricadas deben contar con bordes redondeados y acabados suaves para evitar cortes o lesiones durante su manipulación, al igual que el uso de piezas pequeñas que representan peligro de ingestión o atragantamiento. Por último, en concordancia con la directiva RoHS, se establece la necesidad de emplear materiales no tóxicos y libres de sustancias peligrosas.

Socioculturales

El kit está destinado a una institución pública de Fusagasugá, donde la mayoría de los estudiantes pertenecen a estratos socioeconómicos básicos y cuentan con poco acceso a dispositivos tecnológicos, lo que restringe el nivel de complejidad de las actividades. Asimismo, se reconoce la brecha de género existente en las áreas STEM, por lo que, se plantea la necesidad de diseñar un material inclusivo y no estereotipado.

Metodologías para la Selección y Desarrollo de la Solución

Soluciones Ilógicas

El uso de sensores de alta precisión y calidad para el uso del kit ya que esto impediría uno de los objetivos principales del kit el cual es la elaboración de estos con costos bajos sin afectar tanto la calidad que les pueda dar a los estudiantes.

El uso de piezas pequeñas y objetos conductores eléctricos sin una protección aislante ya que el kit se centra en la seguridad de los niños que usarán de estos, ya que si no es seguro el kit no puede ser comercializado.

El kit va a ser usado tanto por estudiantes sordos como por profesores, por tanto, se requiere de estos últimos conocimientos básicos, para poder guiar la experiencia dentro de los cursos. Dado lo anterior, se requiere que las experiencias a desarrollar con los dispositivos estén al alcance de la formación de docentes y estudiantes. Experiencias con alto grado de complejidad podrían producir que el kit no se usara como se espera.

Comparación con experiencias previas

Una de las empresas que es más reconocida y elabora kits centrados en el STEM es lego, pero este se centraliza más en la parte de armar dejando un poco lo educativo y también los altos precios de estos productos.

Makeblock es otra empresa, pero centrada más en la elaboración de kits educativos centrados en STEM de manera práctica, pero manejando precios altos en sus productos

Con este proyecto se centra en dar una mejor solución en un kit educativo dando en este una variedad de áreas que se pueden enseñar con un mismo kit sin dejar de lado la parte de un precio accesible para todas las personas.

Evaluación de soluciones viables

Al revisar las distintas alternativas para abordar las problemáticas del acceso limitado a herramientas o métodos de enseñanza STEM en instituciones públicas. Las cuales algunas opciones que se tomaron en cuenta fue el uso de kits comerciales como LEGO Mindstorms o Makeblock, y el desarrollo de un kit propio.

Las soluciones pensadas que de mejor manera resuelven la problemática es el uso de kits comerciales, pero teniendo una desventaja lo cual son sus altos costos por lo que hace que sean inviables para el uso educativo en colegios públicos de bajos recursos como el de la institución José Celestino Mutis de Fusagasugá.

En contraste, el kit mecatrónico de bajo costo representa una alternativa sostenible, accesible y adaptable, manteniendo el equilibrio entre la seguridad, funcionalidad y costo. Su

fabricación mediante impresión 3D con PLA biodegradable y el uso de componentes electrónicos económicos garantizan viabilidad técnica, cumplimiento normativo y un impacto ambiental reducido.

Tipo de solución aceptada en el presente

La solución aceptada es una que se centre en la seguridad permitiendo que los padres de familia, profesores o la institución puedan sentirse tranquilos de que los estudiantes puedan usar el kit de manera segura sin imprevistos, también se resalta que sea algo económico ya que la institución no se puede permitir el gasto excesivo en este tipo de cosas ya que es algo que se debe adquirir a cantidad.

Tipo de recursos (humanos, económicos, tiempo, etc.) que pueden estar implicados en la solución

- Humanos: participación de estudiantes de ingeniería encargados del diseño, docentes tutores, y profesores de primaria que apoyan la implementación.
- Económicos: inversión aproximada entre \$200.000 y \$280.000 COP por kit, dependiendo de los componentes seleccionados.
- Tiempo: desarrollo y validación del kit estimado en un semestre académico, incluyendo diseño, impresión 3D, programación, y prueba piloto en aula.
- Materiales: uso de PLA biodegradable, componentes electrónicos básicos (sensores, actuadores, microcontroladores), herramientas de laboratorio y software CAD.

Implicaciones que tienen las soluciones

La solución tiene implicaciones educativas, sociales y ambientales:

- En el ámbito educativo, fortalece la enseñanza STEM desde edades tempranas y a comunidades sordas.
- En el plano social, promueve la equidad y la inclusión tecnológica en instituciones públicas.
- En el aspecto ambiental, utiliza materiales sostenibles y de bajo impacto ecológico.

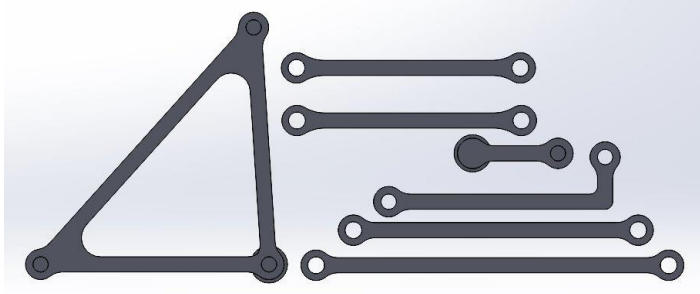
A largo plazo, la propuesta impulsa una formación más práctica, motiva el interés por la ciencia y la tecnología, y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 4 y 9).

Desarrollo de la Ingeniería

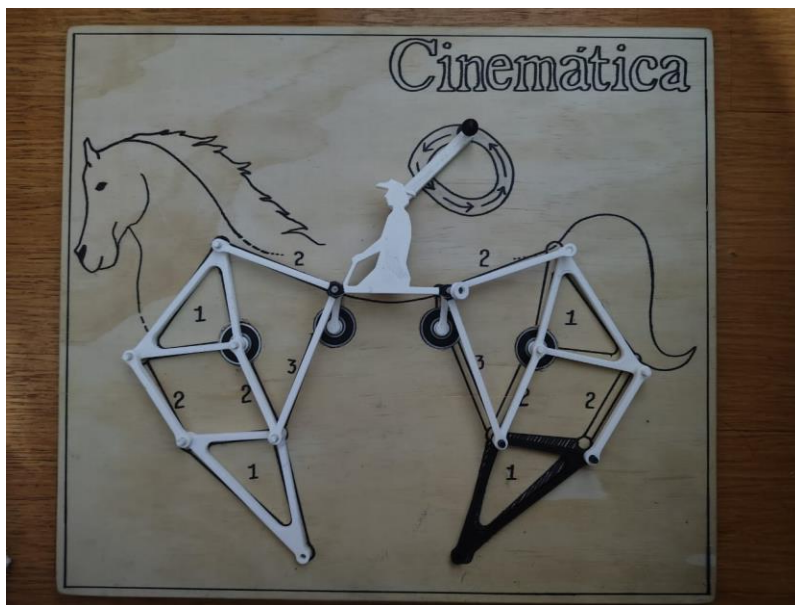
El desarrollo de la ingeniería comprende el proceso completo, modelado, fabricación, ensamblaje y construcción de los elementos que conforman el kit mecatrónico. Esta sección detalla la ingeniería aplicada para la creación de los cuatro módulos funcionales y los dos rompecabezas mecánicos, así como la justificación técnica detrás de cada decisión de diseño, los materiales utilizados y el proceso de manufactura.

Módulo 1-Autómata Mecánico (Tipo Theo Jansen)

Plano del Módulo



Fotografías del Módulo Final

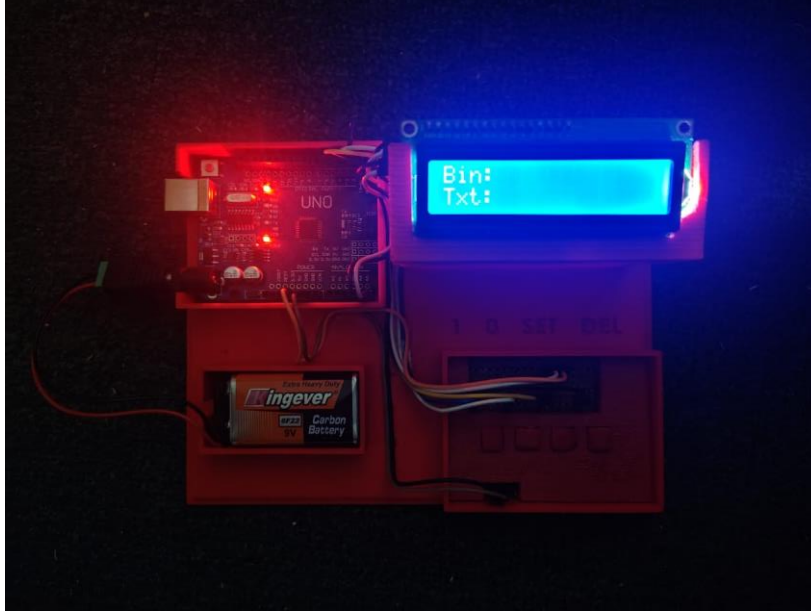


Descripción Técnica

El módulo se diseñó siguiendo principios de cinemática básica mediante un mecanismo inspirado en los autómatas de Theo Jansen. La estructura está formada por un conjunto de brazos articulados que transforman el movimiento circular generado por una manivela en un movimiento lineal oscilatorio.

Fase de Construcción

- Diseño CAD de cada eslabón.



Descripción Técnica

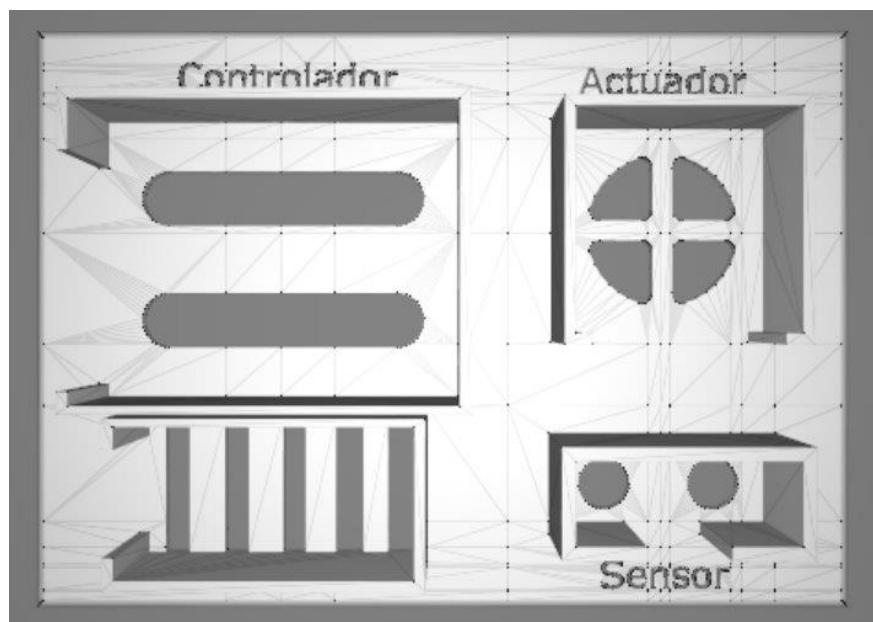
Este dispositivo permite ingresar códigos binarios mediante cuatro botones (0, 1, Set, Delete) y visualizar la letra correspondiente en una pantalla LCD. El objetivo es reforzar conceptos de programación y lenguaje computacional básico.

Fase de Construcción

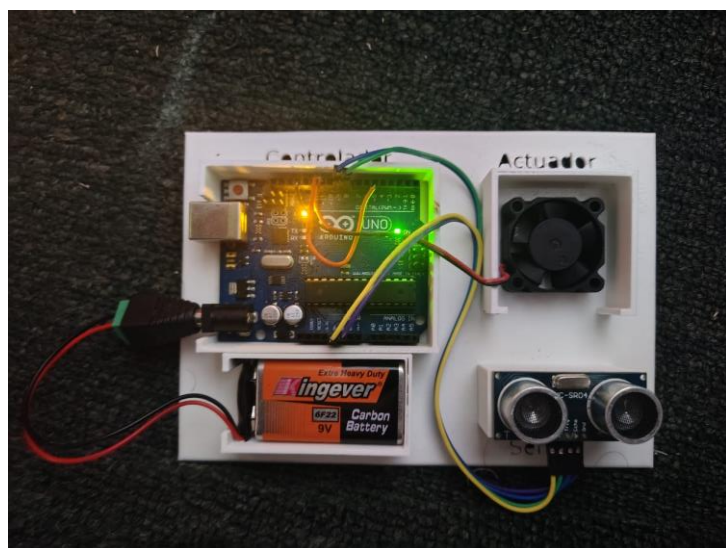
- Diseño de carcasa y soporte para botones.
- Impresión y lijado de piezas.
- Soldadura de botones, LCD y microcontrolador.
- Programación del algoritmo de conversión binaria.
- Pruebas de tiempo de respuesta (<2 segundos).

Módulo 3-Módulo de Control Automatizado

Plano del Módulo



Fotografías del Módulo Final



Descripción Técnica

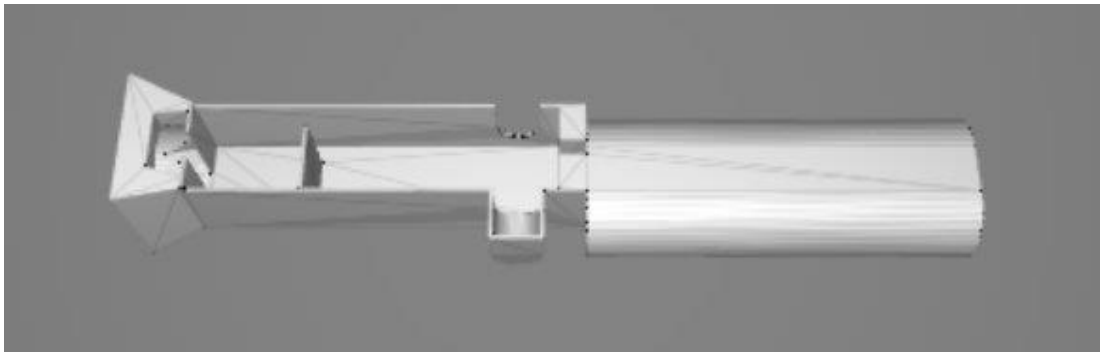
Este módulo introduce a los estudiantes a los principios de automatización. Se utiliza un sensor de distancia para activar un actuador (motor DC con ventilador). Su estructura modular permite reorganizar el sensor en distintas posiciones.

Fase de Construcción

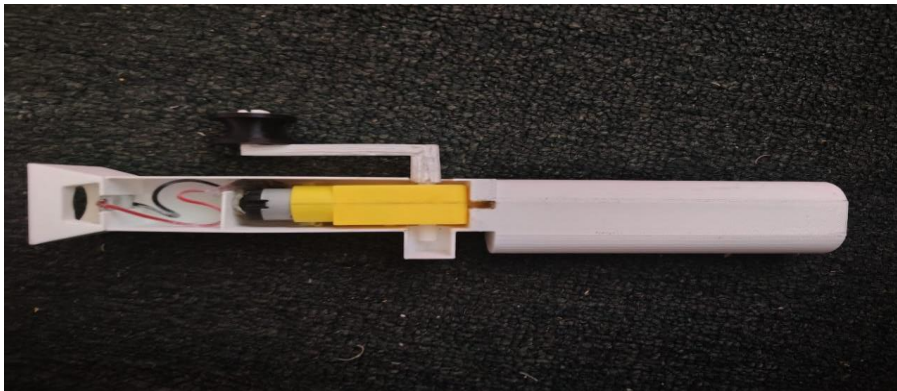
- Diseño CAD de la plataforma con slots.
- Pruebas de movimiento en simulador.
- Impresión 3D de las piezas.
- Ensamblaje y prueba del sensor.
- Ensamble de actuador.

Módulo 4-Generador Manual de Electricidad

Plano del Módulo



Fotografías del Módulo Final



Descripción Técnica

Este módulo enseña principios de conversión de energía mecánica a energía eléctrica. Una palanca acciona un motor reductor actuando como dinamo, generando entre 4.5V y 6V según velocidad de giro.

Fase de Construcción

- Diseño CAD de engranajes y palanca.
- Impresión 3D del marco y soporte del motor.
- Montaje del sistema y calibración del eje.
- Pruebas de voltaje y carga de LED.

Rompecabezas 1-Motocicleta Magnética

Fotografías del Módulo Final



Descripción Técnica

Este rompecabezas está compuesto por varias piezas con forma de distintas partes de una motocicleta, cada una equipada con imanes en la parte posterior.

Rompecabezas 2-Robot Noisy Boy

Fotografías del Módulo Final



Descripción Técnica

Este rompecabezas tridimensional está inspirado en el robot Noisy Boy de la película *Gigantes de Acero*. Está compuesto por piezas grandes que forman un robot completo: cabeza, torso, brazos y piernas.

Análisis de Impacto

Aspectos significativos del proyecto

En Colombia, el proyecto tiene un efecto importante en la incorporación educativa tecnológica de comunidades sordas. Al crear un kit de mecatrónica que sea accesible y educativo, se permite a los alumnos con discapacidad auditiva aprender de forma táctil, práctica y visual.

Del mismo modo, promueve la apropiación de la tecnología, el pensamiento crítico y la creatividad, así como la educación STEM en etapas tempranas. Esta perspectiva hace que el conocimiento técnico sea accesible a todos, lo cual ayuda a desarrollar capital humano para la cuarta revolución industrial.

Impacto Ambiental

El proyecto adopta un enfoque de sostenibilidad mediante el uso de materiales biodegradables como el PLA (ácido poliláctico), que reemplaza plásticos derivados del petróleo. Esto reduce la huella ecológica y fomenta la economía circular.

También, promueve prácticas responsables en la fabricación (impresión 3D local, bajo consumo energético y reutilización de componentes electrónicos). El impacto ambiental se considera positivo y de bajo nivel de riesgo, puesto que los materiales son reciclables y no generan residuos tóxicos.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE IMPACTO	NIVEL
MATERIALES	Sustituyen plásticos no degradables	Positivo	Bajo
USO ENERGÉTICO	Bajo consumo por tamaño y autonomía de 2 horas	Positivo	Bajo
DESECHOS ELECTRÓNICOS	Reutilizables o de bajo impacto	Positivo	Medio-Bajo

Relación con la Agenda 2030 y los ODS

El proyecto contribuye y apunta a diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible que serán explicados en la siguiente tabla:

ODS	Relación
ODS 4: Educación de Calidad	Promueve la educación inclusiva y equitativa para estudiantes sordos, usando metodologías STEM accesibles.
ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura	Fomenta la innovación educativa y el acceso a tecnologías mecatrónicas sostenibles.
ODS 10: Reducción de las desigualdades	Brinda oportunidades tecnológicas a poblaciones con limitaciones sensoriales y económicas.
ODS 12: Producción y consumo responsables	Implementa materiales biodegradables y reutilizables en la construcción del kit.
ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos	Articula esfuerzos entre universidad, docentes y comunidades educativas.

Análisis de Viabilidad

Viabilidad Técnica

El proyecto es técnicamente viable ya que emplea materiales y componentes accesibles, disponibles en el mercado local (PLA, sensores, actuadores, microcontroladores).

La fabricación mediante impresión 3D y la integración modular magnética simplifican el montaje y mantenimiento.

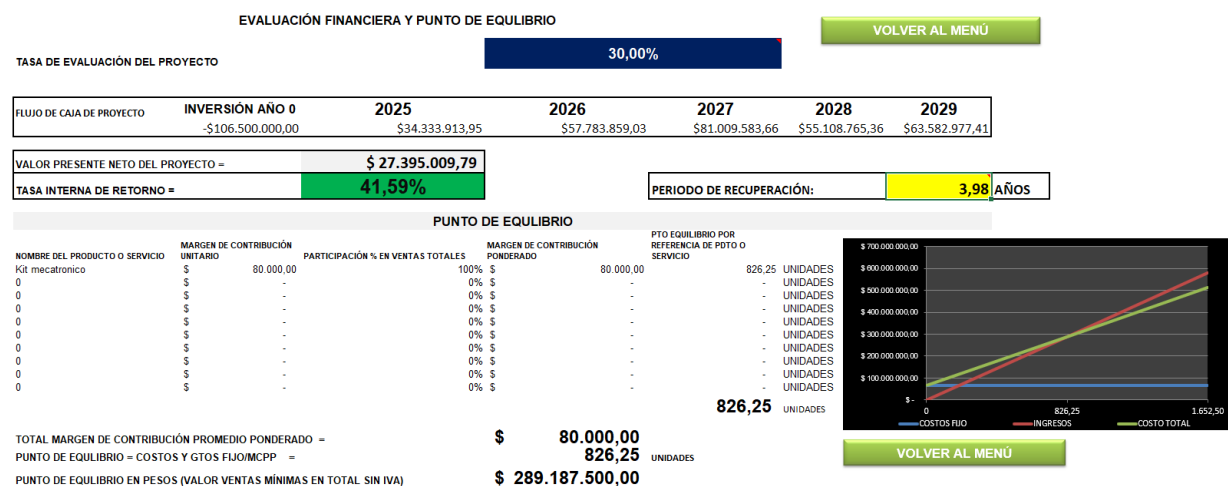
La autonomía y seguridad eléctrica están validadas dentro de límites normativos, garantizando funcionalidad, seguridad infantil y durabilidad.

Riesgo Técnico: Bajo, mitigado con pruebas de validación y cumplimiento de normas tales como las NTC-205, EN71, RoHS.

Viabilidad Económica y Simulador Financiero

El costo estimado por kit se encuentra entre \$200.000 y \$280.000 COP, con una meta de producción para instituciones públicas.

Simulador Financiero



Financiación Posible:

- Fondos universitarios o semilleros de investigación.
- Alianzas con Secretaría de Educación de Fusagasugá.
- Patrocinios de empresas de tecnología o responsabilidad social.
- Crowdfunding o ferias de innovación educativa.

Viabilidad Legal

El proyecto cumple con las siguientes normativas:

- **NTC 2050 / IEC 61140:** Seguridad Eléctrica en baja tensión.
- **NTC-EN 71:** Seguridad de juguetes y materiales para niños.
- **Ley 2232 de 2022:** Reducción de plásticos de un solo uso.
- **Ley 1480 de 2011:** Protección del consumidor.
- **Decreto 1078 de 2015:** Incorporación de TIC en educación.

Viabilidad Operativa

La viabilidad de la implementación del kit se basa en tiempos de preparación por sesión, numero de kits y numero de docentes capacitados, teniendo en cuenta el siguiente plan operativo:

- Cronograma: fabricación, pruebas, revisión, preparación, duración de taller de 2 horas.
- Capacitación: Sesión breve para docentes. Sugerir materiales de apoyo visual.

Viabilidad Ambiental

El aporte ambiental requiere gestionar de manera adecuada los componentes electrónicos, para esto se pueden realizar acciones de mitigación ambiental:

- Incluir guía de disposición final y recomendaciones de reciclaje/reutilización.
- Fomentar la reutilización de módulos electrónicos en actividades futuras.
- Optimizar impresión 3D

Viabilidad Social

El enfoque inclusivo del proyecto potencia su relevancia social. Por lo que, se recomienda formalizar alianzas con el colegio y obtener apoyo de docentes, y utilizar medidas que refuercen la viabilidad social del proyecto como:

- Desarrollo de materiales didácticos visuales.
- Sesiones participativas que involucren familias y comunidad escolar.
- Realizar entrevistas para evaluar pertinencia cultural y mejoras.

Riesgos Identificados

- **Riesgo técnico:** fallos en integración electrónica o desgaste de piezas PLA. Mitigación: pruebas iterativas y repuestos.
- **Riesgo económico:** aumento de precios de componentes importados. Mitigación: alternativas locales y compras por volumen.
- **Riesgo operativo:** falta de capacitación docente. Mitigación: taller formativo y manuales visuales.
- **Riesgo ambiental:** disposición inadecuada de RAEE. Mitigación: guía de disposición y convenio con punto de recolección local.

Resultados

Resultados del diseño y prototipo

El desarrollo del kit mecatrónico resultó en la construcción de cuatro módulos: un autómatas mecánico, un juego binario con una interfaz visual en pantalla OLED, un módulo de

control con sensores y actuadores, y un generador de energía manual. Todos estos dispositivos se realizaron con PLA mediante impresión 3D, lo que permitió obtener piezas ligeras y de bajo costo. Además, los módulos integraron de manera efectiva componentes electrónicos de bajo voltaje, teniendo en cuenta los criterios de seguridad estipulados.

El prototipo final se desarrolló y cumplió teniendo en cuenta las especificaciones técnicas planteadas, con un tiempo de respuesta menor a dos segundos en la pantalla, estabilidad en los sensores, funcionamiento continuo de las baterías y un ensamblaje modular que facilitó el mantenimiento y la comprensión del funcionamiento interno del sistema.

Resultados de funcionamiento

Para estas pruebas, por cada módulo se realizó una evaluación independiente, lo que mostro:

- Correcto reconocimiento de entradas binarias en la pantalla
- Activación confiable de actuadores
- Generación de energía estable en el módulo manual
- No se presentaron fallas de sobrecalentamiento ni daños eléctricos.

Basado en los resultados, podemos entender que la solución funciona de manera estable y es adecuada para ser utilizada por los estudiantes sin requerir manipulación especializada.

Resultados pedagógicos

La revisión y validación preliminar con los docentes del aula de sordos permitió identificar las fortalezas del diseño:

- El uso de retroalimentación visual como las luces, la pantalla y colores facilitan la comprensión de los conceptos de entrada, proceso y salida.
- La manipulación del kit favorece el aprendizaje experimental, lo cual es especialmente útil para estudiantes con dificultades auditivas.
- La facilidad y simplicidad de las interfaces permite que los estudiantes se concentren en la relación entre causa y efecto sin tener que sobre exigirse mentalmente.

Esto generó que los docentes valoraran positivamente el potencial del kit para apoyar los procesos de aprendizaje STEM y fomentar la participación activa de los estudiantes.

Resultados ambientales y económicos

El uso del PLA redujo significativamente el impacto ambiental, en comparación con el uso de materiales alternativos como ABS o PVS. Y a partir de esto se logró un diseño que minimiza el desperdicio en impresión 3D y que también facilita el reemplazo de componentes electrónicos con el fin de prolongar la vida útil del kit.

El costo del prototipo se mantuvo dentro del rango estimado en el análisis inicial, confirmando la viabilidad económica del proyecto para instituciones con recursos limitados. Por lo que, se comprende la posibilidad de reproducir el kit para futuras implementaciones en aulas inclusivas.

Evidencias de la Validación con Estudiantes





Conclusiones

El proyecto demostró que es totalmente viable diseñar y construir un kit mecatrónico educativo de bajo costo, capaz de integrar mecánica, electrónica, programación y control en un sistema accesible para instituciones públicas con recursos limitados. El kit cumple con los objetivos pedagógicos del enfoque STEM, permitiendo que los estudiantes aprendan de manera práctica mediante la experimentación, el juego y la manipulación directa, fortaleciendo habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas. Su diseño accesible y multisensorial también permitió reducir de manera significativa las barreras educativas que enfrentan los estudiantes sordos, promoviendo una participación más inclusiva y equitativa dentro del aula.

Las pruebas técnicas y pedagógicas confirmaron que el kit es funcional, seguro y sencillo de utilizar, lo que garantiza una experiencia educativa estable y adaptada a las necesidades de los niños. El uso de impresión 3D con PLA biodegradable y componentes electrónicos económicos no solo permitió cumplir con los requerimientos de bajo costo, sino también asegurar la sostenibilidad ambiental y el respeto por las normativas de seguridad infantil. Esto demuestra que la combinación entre diseño responsable, bajo presupuesto y funcionalidad es posible en contextos educativos vulnerables.

El proyecto genera un impacto social importante al acercar la tecnología a estudiantes de bajos recursos, motivándolos a explorar áreas científicas y tecnológicas desde edades tempranas. De igual manera, su pertinencia se refuerza al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con educación de calidad, innovación, sostenibilidad y reducción de desigualdades. En conjunto, los resultados permiten concluir que este kit no solo cumple con sus objetivos técnicos y educativos, sino que también constituye una alternativa replicable y

escalable para implementar la educación STEM en otras instituciones del país, especialmente en aquellas que enfrentan limitaciones económicas y tecnológicas.

Referencias

- Acuña, A., Gómez, V., & Pérez, C. (2021). Impacto de la educación STEM en el desarrollo de competencias del siglo XXI en estudiantes de educación básica. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 28(3), 112–125.
- Colombia Aprende. (n.d.). Enfoque educativo STEM+ para Colombia. Colombia Aprende.
- Evripidou, S., Georgiou, K., Doitsidis, L., Amanatiadis, A., Ziononos, Z., & Chatzichristofis, S. (2020). Educational Robotics: Platforms, Competitions and Expected Learning Outcomes. *IEEEAccess*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042555>
- Fitria, T. (2024). Educational Robotics for Elementary Students: Teaching's Opportunity. *Journal Of Contemporary Issue In Elementary Education (JCIEE)*.
<https://doi.org/10.33830/jciee.v2i1.7629>
- Fundación Saldarriaga Concha y Laboratorio de Economía de la educación- LEE de la Pontificia Universidad Javeriana (2023). La educación en Colombia para la población con discapacidad: realidades y retos. Disponible en <https://lee.javeriana.edu.co/>
- Karalekas, G., Vologiannidis, S., & Kalomiros, J. (2020). EUROPA: A Case Study for Teaching Sensors, Data Acquisition and Robotics via a ROS-Based Educational Robot. *MDPI*. <https://doi.org/10.3390/s20092469>
- Kolb, D., & A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Makeblock. (n.d.). Robot Kits and Resources for STEM Teaching. Makeblock Education.
- Martínez, P., & González, R. (2022). Desafíos en la implementación de la política STEM en la educación pública colombiana: Un estudio de caso en instituciones de bajos recursos. *Revista de Educación y Desarrollo Tecnológico*, 18(2), 45–60.

Mwangi Peter Ngugi, Muriithi Christopher Maina, & Agufana Peace Byrne. (2022).

INTEGRATION OF ROBOTIC ACTIVITIES IN STEM AND ITS EFFECT TO STUDENTS' PERCEPTION OF THE SUBJECTS. *International Journal of Novel Research in Education and Learning*, 9(4), 82-90. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7016736>

Rico, J., Londoño, A., & Pavas, E. (2017). La educación en robótica en la escuela: estado del arte en Colombia. *Revista Colombiana de Computación*, 18, 5–18.

Rivas, V., Soto, R., & Pavez, M. (2019). Robótica educativa de bajo costo como herramienta de inclusión social: una experiencia en Chile. *Revista de Educación En Ingeniería*, 14(1), 18–25.

Screpanti, L., & Scaradozzi, D. (2024). Control systems engineering and robotics education since Primary school. *European Control Conference (ECC)*.

<https://www.paperhost.org/proceedings/controls/ECC24/files/0389.pdf>

UNESCO. (2025, February 17). Revitalizing STEM education to equip next generations with STEM competency. UNESCO.

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>