

INFORME DE PRÁCTICAS PREPROFESIONALES ACTIVIDADES DE SERVICIO COMUNITARIO QUE PRESENTA EL ESTUDIANTE



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERAS DE MECATRONICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**ENTORNO TECNOLÓGICO COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL
PROCESO DE APRENDIZAJE EN AULAS HOSPITALARIAS.**

**FIRMA DEL DOCENTE PARTICIPANTE
Ing. Mayra Elizabeth Comina Tubón.Ph.D.**

**FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO
Ing. Danni Rodrigo De la Cruz Guevara.Ph.D.**

Sangolqui, 27 de agosto de 2024

RESUMEN

El propósito primordial de este documento es ofrecer una detallada descripción del proceso empleado para familiarizar a los niños con la tecnología mediante la creación y utilización de un prototipo STEAM. Este prototipo, diseñado para enseñarles conceptos básicos de programación, se centra en un robot renacuajo equipado. Además de abordar la conceptualización y diseño del robot, se explorará la planificación detallada que abarca desde el desarrollo inicial hasta la implementación en un software CAD, la configuración del esquema de conexión y el dimensionamiento de los elementos. Como punto de partida, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de proyectos similares, permitiendo así una comparación directa de los resultados obtenidos durante las pruebas de nuestro prototipo con los logros previamente documentados. Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones derivadas de las experiencias y hallazgos acumulados a lo largo del desarrollo de este proyecto, brindando así una visión integral y perspicaz de todo el proceso.

PALABRAS CLAVES

Tecnología educativa, prototipo, STEAM, programación básica, robot, software.

ABSTRACT

The primary purpose of this paper is to provide a detailed description of the process used to familiarize children with technology through the creation and use of a STEAM prototype. This prototype, designed to teach them basic programming concepts, focuses on a robot in the form of an equipped frog. In addition to addressing the conceptualization and design of the robot, detailed planning from initial development to implementation in CAD software, configuration of the connection scheme and sizing of the elements will be explored. As a starting point, a comprehensive analysis of similar projects will be carried out, thus allowing a direct comparison of the results obtained during the testing of our prototype with the previously documented achievements. Finally, conclusions and recommendations derived from the experiences and findings accumulated throughout the development of this project will be presented, thus providing a comprehensive and insightful view of the whole process.

KEYWORDS

Educational technology, prototyping, STEAM, basic programming, robot renacuajo, software.

0.1. Introduccion

0.1.1. Problema Objeto de Estudio

Los desafíos que enfrentamos al enseñar conceptos básicos de tecnología, resolución de problemas y programación a niños de entre 6 y 9 años son diversos y requieren un enfoque educativo cuidadosamente diseñado. Uno de los principales desafíos radica en adaptar los conceptos técnicos complejos a un lenguaje y un contexto comprensibles para los niños de esta edad. Además, es fundamental crear actividades y proyectos que sean lo suficientemente atractivos y motivadores para mantener su interés y compromiso a lo largo del proceso de aprendizaje.

Al diseñar y construir un robot interactivo, nos enfrentamos al desafío de encontrar el equilibrio adecuado entre la simplicidad y la complejidad. El robot debe ser lo suficientemente simple para que los niños puedan comprender cómo funciona y participar en la utilización, pero también lo suficientemente sofisticado como para ofrecer oportunidades significativas de aprendizaje y desafío.

Otro desafío importante es garantizar que el proyecto promueva un enfoque holístico del aprendizaje, que no solo se centre en aspectos técnicos, sino que también fomente el desarrollo de habilidades socioemocionales, como la colaboración, la comunicación y la resolución de conflictos. Es fundamental que los niños aprendan a trabajar en equipo, a comunicarse de manera efectiva y a superar desafíos juntos, ya que estas habilidades son esenciales en el mundo actual.

Además, debemos tener en cuenta la diversidad de habilidades y estilos de aprendizaje de los niños dentro del grupo objetivo. Es importante diseñar actividades y recursos educativos que sean inclusivos y accesibles para todos los niños, independientemente de su nivel de habilidad o experiencia previa en tecnología.

0.2. Estado del Arte

- "3D pose and target position estimation for a quadruped walking robot"

El texto describe un enfoque para calcular la posición tridimensional de un robot de cuatro patas y un método para rastrear objetivos para su navegación. La posición tridimensional calculada es crucial para el funcionamiento efectivo de un robot móvil. Esta posición se utiliza en dos áreas principales: el control del movimiento del robot y la navegación. Además, la posición estimada del robot puede ser empleada para corregir datos de sensores, como cámaras y sensores de mentira. El objetivo estimado también se utiliza en un sistema líder-seguidor en entornos donde no se dispone de GPS. Se presenta un método para la estimación de la posición tridimensional del robot y el seguimiento del objetivo para la navegación líder-seguidor. Se explica de manera concisa un método para calcular la posición tridimensional y seguir objetos objetivo. Se muestra una arquitectura en tiempo real para este propósito, basada en un sensor de posición y un sensor de imagen. Para futuras investigaciones, se planea centrarse en la clasificación de objetos dentro de una nube de puntos segmentada.

- "Leg Mechanism Design for SLIP Model of Hydraulic Quadruped Robot"

El modelo del Péndulo Invertido con Resorte (SLIP) simplifica el caminar dinámico de humanos y animales, pero implementar tales movimientos con patas articuladas típicas y actuadores lineales tiene limitaciones. Este artículo propone un mecanismo de pata que imita con precisión el SLIP basado en su estructura mecánica. Este mecanismo permite movimientos separados de balanceo y extensión, con un enfoque en mejorar la rectitud del movimiento de extensión. El estudio explora un diseño de pata inspirado en el modelo SLIP, con tres grados de libertad (DOF) y una configuración que utiliza un pantógrafo

y dos actuadores hidráulicos lineales para movimientos independientes de balanceo y extensión, como se ve en AlphaDog. Para mejorar el movimiento en línea recta durante la extensión, se incorporó un generador de línea recta, ofreciendo ventajas significativas en el control del apoyo. Los resultados de la simulación demuestran un mejor movimiento de extensión en línea recta en comparación con el modelo AlphaDog.

■ **“A Stable Walking Strategy of Quadruped Robot Based on Foot Trajectory Planning”**

Se presenta un método de planificación de trayectorias para los pies de un robot cuadrúpedo que permite un movimiento estable en planos horizontales, evitando el impacto contra el suelo. En primer lugar, se establece un modelo cinemático del robot cuadrúpedo utilizando el algoritmo D-H. Luego, se planifican las trayectorias de los pies, que son continuas no solo en desplazamientos y velocidades, sino también en aceleraciones, basadas en la marcha. Por último, se simulan los movimientos de dirección y línea recta del robot; los experimentos de simulación muestran que el movimiento del robot cuadrúpedo es estable en planos horizontales sin impacto ni deslizamiento. En este documento se presenta un método de planificación de marcha que minimiza el impacto en el contacto para lograr que el robot cuadrúpedo tenga marchas estables en planos horizontales. Los resultados de la simulación muestran que las trayectorias de los pies basadas en la marcha son continuas y suaves, lo que permite que el robot cuadrúpedo se mueva de manera estable en planos horizontales sin impacto ni deslizamiento.

■ **“Gait planning and simulation of quadruped robot climbing one-step stair”**

El estudio aborda la necesidad de que los robots cuadrúpedos puedan adaptarse a diferentes condiciones del terreno, incluyendo la capacidad de subir escalones. Se llevó a cabo la planificación y simulación de la marcha de un robot cuadrúpedo en esta situación espe-

cífica. Se construyó un modelo tridimensional del robot y se analizó su cinemática para planificar la marcha al subir un escalón. Durante este proceso, se utilizó retroalimentación en tiempo real del centro de masa del robot para mejorar su estabilidad. Se diseñó una trayectoria especial para el pie móvil para evitar colisiones y grandes fuerzas de contacto. Los resultados de la simulación indican que con esta planificación de marcha y trayectoria especial, el robot puede subir escalones de manera estable con mínima desviación en su trayectoria. Este trabajo proporciona una base teórica para el desarrollo de prototipos físicos de robots en el futuro, con el algoritmo desarrollado destinado a ser utilizado en experimentos físicos con prototipos de robots.

■ ".Embedded Control System Design and Experimental Analysis of Bionic Quadruped Robot"

Este artículo se centra en un pequeño robot cuadrúpedo biónico con cuatro grados de libertad por pata, que emplea un chip integrado llamado Stm32f103vct6 como su núcleo de control. Utilizando este sistema de control, se envían datos de marcha a servomotores digitales en cada articulación en un modo de comunicación semidúplex para ajustar con precisión los ángulos de rotación de los servomotores, logrando así un movimiento estable del robot. Los resultados experimentales demuestran que durante la marcha, los ángulos de inclinación, cabeceo y guiñada del cuerpo del robot experimentan ligeras variaciones, pero el movimiento permanece relativamente estable. Esto valida la eficacia del diseño del sistema de control integrado para lograr una marcha cuadrúpeda estable. Además, se destaca que el sistema de control integrado tiene ventajas como una rápida velocidad de procesamiento, escalabilidad periférica y capacidad de almacenamiento, lo que lo hace adecuado para algoritmos inteligentes y movimientos de baja potencia en robots cuadrúpedos biónicos. El sistema de control diseñado es en tiempo real y preciso,

controlando los ángulos de rotación de 16 servomotores digitales para la marcha del robot. Los cambios en el ángulo de actitud medidos físicamente se mantienen dentro de un rango estable y teórico, lo que confirma la viabilidad y estabilidad del sistema de control integrado.

- "Toward A Novel Deformable Robot Mechanism to Transition between Spherical Rolling and Quadruped Walking"

En este artículo se presenta un nuevo tipo de robot deformable con habilidades tanto de rodar esféricamente como de caminar a cuatro patas, y su mecanismo puede ajustarse según las condiciones del terreno. Este mecanismo flexible permite al robot moverse de manera eficiente y ahorrar energía en terrenos planos, al tiempo que mejora su capacidad de adaptación en terrenos irregulares. Además, este mecanismo integrado aumenta la flexibilidad del movimiento, permitiendo modos de rodado y caminata tradicionales, así como movimientos avanzados como rueda-pata y marcha rápida. Se llevaron a cabo pruebas en un entorno real para evaluar una serie de movimientos simples en diferentes modos, así como la transición entre ellos, y se evaluó su desempeño en tareas complejas mediante simulación. Los resultados de estas pruebas demuestran que el robot deformable propuesto, con su capacidad de movimiento mejorada en terrenos irregulares, puede realmente aumentar la eficiencia en la realización de tareas prácticas.

- "Swing Trajectory Model for the New Design of Quadruped Robot Using V-REP Simulator"

Este estudio presenta tres modelos de trayectoria de balanceo de las patas de un robot como una evaluación del movimiento equilibrado periódico en un nuevo diseño de robot cuadrúpedo de tamaño mediano llamado "Kancil-V2", que consta de 4 brazos con 2

grados de libertad cada uno, con un peso total de 5 kg. El robot fue sometido a pruebas utilizando los tres modelos de trayectoria de balanceo. Según los resultados de la simulación, el robot demostró un movimiento estable en superficies planas. Las pruebas de movimiento del robot consistieron en avanzar durante unos segundos y luego retroceder para determinar qué modelo de trayectoria de balanceo permitía al robot regresar al punto de partida más cercano. Los tres modelos probados incluyen la parábola, Xin Jin y la distribución triangular. La simulación de los tres modelos de movimiento de las patas del robot se llevó a cabo en el nuevo diseño propuesto, y los resultados indicaron un movimiento equilibrado del robot en un plano plano. La selección del modelo de trayectoria afecta la dirección del movimiento del robot, y se concluyó que el modelo de trayectoria parabólica es el más adecuado para el movimiento del robot propuesto, con las distancias de regreso al punto de partida más cercano en el siguiente orden: Parabólica = -0,1259, Triangular = 0,5322 y Xin Jian = 0,5473.

■ "Generation of a continuous free gait for quadruped robot over rough terrains"

El artículo presenta un nuevo método de generación de marcha para robots cuadrúpedos, especialmente diseñado para terrenos irregulares con suelos desiguales y áreas prohibidas. Este enfoque utiliza la planificación de la trayectoria del Centro de Gravedad (COG) para mantener la estabilidad del robot durante la marcha. Tras analizar la topografía del terreno, se identifican las áreas prohibidas, y se propone una estrategia para determinar automáticamente los puntos de apoyo óptimos para los pies en movimiento. Además, se sugiere un método para mejorar el rendimiento del robot mediante la determinación de la secuencia de movimientos de los pies. La eficacia de este método se valida a través de simulaciones, demostrando que el robot puede moverse de manera autónoma y exitosa en terrenos accidentados.

Para abordar terrenos con áreas prohibidas, se propone un método continuo de generación de marcha, utilizando el procesamiento de datos del terreno para identificar las zonas de peligro. Esto se complementa con un método para seleccionar los puntos de apoyo óptimos, así como una estrategia de planificación de trayectorias del COG para garantizar la estabilidad del robot durante la marcha. Los resultados de la simulación respaldan la efectividad de este enfoque, mostrando que el robot puede atravesar terrenos difíciles de manera automática y segura.

Sin embargo, en entornos reales, como áreas salvajes o zonas de desastre, pueden existir peligros no visibles en la superficie del suelo, lo que puede afectar la estabilidad del robot. Para abordar este desafío, se sugiere explorar en futuras investigaciones un enfoque que combine el control descentralizado con la planificación de la marcha, con el objetivo de mejorar aún más la robustez de la marcha y aumentar la tasa de éxito del robot en terrenos difíciles.

- "How to optimize the slope walking motion by the quadruped walking robot"

La reducción del consumo de energía es esencial para la efectividad de los robots cuadrúpedos en terrenos complicados. Los autores han investigado una estrategia para mejorar la eficiencia energética durante la locomoción del robot, centrándose en los movimientos que requieren potencia positiva. Este artículo analiza específicamente la eficiencia energética de la caminata en pendientes de los robots cuadrúpedos. Se examinan diferentes posturas de caminata, considerando las características ideales del actuador para minimizar las pérdidas de energía. Además, se identifica una postura óptima para la caminata en pendientes mediante la optimización de los parámetros de la marcha. Los resultados muestran mejoras significativas en la eficiencia energética y el ancho del apoyo

del robot. Se sugiere implementar un sistema de control de fuerza en futuros robots cuadrúpedos y validar los hallazgos mediante experimentos en terreno con un robot TITAN XII.

■ "Implementation of omnidirectional crawl for a quadruped robot"

Este artículo aborda la necesidad de que los robots cuadrúpedos puedan moverse de manera efectiva en entornos irregulares, similar a cómo lo hacen los animales reptiles en terrenos desordenados. Propone formulaciones detalladas para generar marchas rectilíneas y de giro en el lugar, esenciales para mantener la estabilidad en terrenos irregulares. Se discuten aspectos como la longitud de zancada máxima y el ángulo de giro máximo, considerando las limitaciones mecánicas del robot y las irregularidades del terreno. Además, se describe un algoritmo de control para dirigir el movimiento del robot mediante la manipulación de las articulaciones. La efectividad de este método se demuestra con resultados experimentales. En resumen, se propone un enfoque sistemático para la implementación de un arrastre omnidireccional en el robot cuadrúpedo TITAN-VIII. Este método ofrece ventajas significativas sobre las marchas convencionales, permitiendo una transición fluida entre ciclos de marcha y la adaptación a diversos factores del entorno. Además, su implementación es compatible con sistemas de navegación basados en sensores para el control autónomo del robot en entornos complejos. Este enfoque puede aplicarse a diversos tipos de movimiento corporal y factores de trabajo, siempre que se ajusten los algoritmos de control correspondientemente.

■ "On the Design and Development of a Quadruped Robot Platform"

En este artículo, se detalla el desarrollo de un robot cuadrúpedo denominado HuboDog. El objetivo principal del proyecto es crear una plataforma de robot cuadrúpedo confia-

ble y robusta que permita realizar caminatas estáticas/dinámicas estables y rápidas tanto en terrenos uniformes como irregulares, además de posibilitar el transporte de cargas. Se logra una plataforma ligera pero altamente resistente mediante el uso de una estructura tipo marco y un diseño de articulaciones tipo viga de doble soporte. Se ha diseñado un actuador de articulación pequeño, ligero pero con alta potencia de salida, empleando una reducción armónica y un motor eléctrico de alta velocidad y potencia. Se opta por un sistema de control distribuido para reducir la carga computacional en la computadora principal y facilitar la extensión de los componentes eléctricos. Se han desarrollado subcontroladores basados en microprocesadores para el control de motores y la retroalimentación de señales de los sensores. La computadora principal, ubicada en el tronco del robot, se comunica con los subcontroladores a través del protocolo CAN (Controller Area Network). El sistema operativo Windows XP se ha utilizado, y se ha implementado un sistema de control en tiempo real mediante el software RTX (Real Time eXtension). El artículo abarca conceptos de diseño, diseño mecánico, integración del sistema y diseño eléctrico. Se realizaron experimentos simples para demostrar el rendimiento del robot, confirmando su capacidad para caminar a 0.875 m/s sin carga y a 0.55 m/s con una carga de 24 kg. Además, el robot pudo sostenerse y moverse hacia arriba/abajo con una carga de 60 kg. Se espera que, en el futuro, con la implementación de algoritmos de control de estabilización y caminata más eficientes, se logre un mejor rendimiento en la marcha.

- "Autonomously generating efficient running of a quadruped robot using delayed feedback control"

En este artículo, se presenta el diseño y análisis de estabilidad de un controlador de carrera simple para un cuadrúpedo, capaz de generar de manera autónoma una carrera constante con eficiencia energética y suprimir perturbaciones como las irregularidades del terreno.

Se comienza considerando el punto fijo de una carrera cuasi-pasiva basada en un modelo de plano sagital del robot. Luego, se aborda el problema de la fricción y la colisión como perturbaciones alrededor de este punto fijo, proponiendo un método de control original para mitigar dichas perturbaciones. Dado que medir con precisión la energía total del sistema es difícil en aplicaciones prácticas, se emplea un método de control de retroalimentación retardada (DFC) basado en el período de fase de apoyo medido por sensores de contacto en los pies del robot. Este método no solo estabiliza la carrera alrededor del punto fijo, sino que también facilita la transición de estar de pie a una carrera constante y la estabilización al superar obstáculos como pequeños escalones. La efectividad del método se valida mediante simulaciones, cuyo metraje está disponible en línea. Además, se demuestra que el ángulo de aterrizaje de cada pata es crucial para controlar la velocidad y altura del salto en la carrera cuasi-pasiva. Se utiliza un generador de ritmo y un generador de par para la generación de la marcha y la entrada de energía, empleando DFC para converger en un punto fijo estable. Aunque el método DFC propuesto puede estabilizar la carrera en terreno plano y adaptarse a irregularidades menores, se requiere una investigación adicional para enfrentar perturbaciones que alteran regularmente la energía del sistema en terrenos más complejos.

■ "Steady Crawl Gait Generation Algorithm for Quadruped Robots"

La principal ventaja de los robots cuadrúpedos sobre los robots móviles con ruedas es su capacidad para caminar de manera estable en terrenos irregulares. Sin embargo, los algoritmos tradicionales de generación de marcha basados en la selección de puntos de apoyo no son adecuados para robots ciegos que carecen de información precisa sobre el terreno. Por ello, proponemos un algoritmo de generación de marcha basado en la velocidad con reglas de adaptación en tiempo real, esenciales para mantener una marcha estable. He-

mos desarrollado una marcha de reptación estable con un factor de trabajo $= 0.75$, que no depende de la selección de puntos de apoyo y puede utilizarse en terrenos irregulares más realistas para robots ciegos. Las reglas de adaptación modifican la velocidad de traslación para garantizar una marcha estable y ajustan el período de oscilación para evitar limitaciones cinemáticas. Este algoritmo se implementó en un robot cuadrúpedo simple con ocho articulaciones accionadas en las patas, logrando una marcha periódica estable en terrenos irregulares. Nuestros resultados presentan un nuevo algoritmo de generación de marcha con un factor de trabajo $= 0.75$ para caminar a baja velocidad, más efectivo que los métodos tradicionales de selección de puntos de apoyo. Este algoritmo puede ser utilizado por robots cuadrúpedos ciegos en terrenos planos o irregulares, proporcionando una marcha estable incluso en terrenos con baja irregularidad. La adaptación se basa en modificar la velocidad de traslación y el período de oscilación para mantener la estabilidad de la marcha, utilizando polinomios interpoladores de quinto orden para la trayectoria corporal y controladores PD para cada articulación accionada.

■ "Path planning for a quadruped robot: an artificial field approach"

En este artículo, se aborda el desafío de planificar una ruta viable para un robot cuadrúpedo caminante en un entorno con obstáculos. A diferencia de los enfoques convencionales que se centran principalmente en evitar colisiones debido a robots con ruedas, en el caso de los robots con patas, se deben considerar tanto la evasión de colisiones como el cruce de obstáculos durante la planificación de la ruta. Además, se deben tener en cuenta las limitaciones de la marcha para garantizar que la ruta planificada sea factible. Para abordar este problema de manera sistemática, se introduce un nuevo concepto de campo térmico artificial. Este enfoque implica la proyección de un robot y obstáculos en un plano 2D basado en la suposición de una marcha de cangrejo periódica, seguido de la búsqueda de una

ruta viable en un campo térmico artificial construido numéricamente en el espacio de configuración discretizado. Se describen tres pasos principales en este enfoque sistemático: la transformación de obstáculos en el espacio de configuración del robot, la construcción de un campo térmico artificial sobre este espacio y la búsqueda de una ruta de transferencia de calor desde un punto de inicio hasta un objetivo. Este enfoque aprovecha las propiedades de la conducción de calor para la planificación de rutas de robots con patas, y se propone una ecuación recursiva para el cálculo numérico de la distribución de calor. Los resultados de las simulaciones demuestran la efectividad de este enfoque para planificar rutas que pueden adaptarse a obstáculos de diferentes formas y tipos. En conclusión, este artículo presenta una perspectiva innovadora sobre el problema de la planificación de rutas para robots con patas, que hasta ahora ha recibido menos atención en comparación con la planificación de marchas y la planificación de rutas libres de colisiones.

■ "Dynamics in the dynamic walk of a quadruped robot"

En este artículo se aborda la clasificación de la caminata en dos tipos: estática y dinámica, destacando la superioridad en velocidad y eficiencia energética de esta última. Se propone un enfoque para optimizar la caminata dinámica de un robot cuadrúpedo, aspecto poco explorado en investigaciones anteriores. Se establecen tres criterios para evaluar la caminata: estabilidad, velocidad máxima y consumo de energía, y se analizan las relaciones entre estos criterios y diversos parámetros como la marcha, velocidad, período, zancada, longitud de la pata y ángulos de las articulaciones. A través de experimentos con el robot Collie-2, se valida la utilidad de estos criterios y se llega a conclusiones importantes, como la influencia del período en la estabilidad y velocidad, y la elección preferida de la marcha según las prioridades de consumo de energía o velocidad máxima. Este estudio resalta la complejidad de la caminata y la importancia de considerar múltiples parámetros

para optimizarla, ofreciendo un marco sistemático para futuras investigaciones en este campo.

- "Generation of Adaptive Gait Patterns for Quadruped Robot with CPG Network Including Motor Dynamic Model"

Este documento describe la generación de patrones de marcha adaptativos utilizando nuevos Generadores de Patrones Centrales (CPGs, por sus siglas en inglés), que incluyen modelos dinámicos de motores para un robot cuadrúpedo en varios entornos. Los CPGs actúan como osciladores flexibles de las articulaciones y ajustan los ángulos de las mismas a los valores requeridos. Estos CPGs están interconectados entre sí y conjuntos de sus parámetros de acoplamiento son ajustados por un algoritmo genético para que el robot cuadrúpedo pueda realizar patrones de marcha estables y adecuados. La generación de patrones de marcha resulta en la formación de redes CPG adecuadas no solo para la formación de un patrón de marcha recto, sino también de patrones de marcha rotativos. Los resultados experimentales demuestran que las redes CPG propuestas son efectivas para el ajuste automático de los patrones de marcha adaptativos para el robot cuadrúpedo probado en varios entornos. Además, se logra el control de seguimiento del objetivo basado en el procesamiento de imágenes al combinar los patrones de marcha generales.

- ".Experimental Investigation on the Design of Leg for a Hydraulic Actuated Quadruped Robot"

La actuación hidráulica es valorada por su capacidad para ofrecer una potencia significativa y un amplio rango de velocidad, todo ello en un paquete compacto y liviano. Esta característica la hace ideal para robots que manejan cargas pesadas o necesitan moverse rápidamente. Sin embargo, en robots caminantes, la potencia de los actuadores hidráulicos

cos puede generar fuerzas de reacción en el suelo que desequilibran al robot. Por lo tanto, el diseño compacto del cuerpo, incluidos los pies, y la implementación de amortiguadores para absorber estas fuerzas son aspectos críticos. Este documento detalla el diseño de las patas para un robot cuadrúpedo con actuación hidráulica, así como el desarrollo de un amortiguador en el módulo de los pies, validado mediante experimentos de caminata estática. Se evaluaron diferentes tipos de muelles para seleccionar el más adecuado para el robot JINPOONG, demostrando que el muelle seleccionado reduce significativamente el impacto en las articulaciones durante la caminata, mejorando así el control del movimiento.

■ "Gait Planning of the Quadruped Walking Chair Robot with Parallel Leg Mechanism"

En este estudio, se ha propuesto un nuevo enfoque para la planificación de la marcha en un robot caminante reconfigurable cuadrúpedo/bípedo con un mecanismo de pierna paralela, combinando ideas de modularización y reconfiguración. El proceso implica la optimización de dimensiones y restricciones estructurales del robot para determinar la longitud del paso. Luego, se planifica la marcha translacional, considerando tanto los requisitos de caminata como la estabilidad del mecanismo corporal. Se analiza la estabilidad estática del robot mediante el margen de estabilidad del robot paralelo. Por último, se calculan los espacios de trabajo de las piernas en movimiento y del mecanismo completo para verificar la efectividad de la planificación de la marcha. Este estudio sienta las bases teóricas para el desarrollo de un prototipo experimental. Además, se discute la planificación de la marcha cuadrúpeda, se obtienen los márgenes de estabilidad utilizando MATLAB y se calculan los espacios de trabajo de las piernas en movimiento para verificar la racionalidad del movimiento del cuerpo.

- ".An Efficient Autonomous Traction Control Method for Quadraped Robot"

Este artículo propone el uso de una teoría mejorada de campos de potencial para aumentar la eficiencia operativa de los robots cuadrúpedos en operaciones autónomas, superando las limitaciones de la teoría tradicional basada en campos de potencial artificial convencionales. El sistema utiliza sensores de percepción montados en el robot para identificar y extraer características de objetivos y obstáculos, estableciendo campos de potencial para cada uno. Luego, la fuerza de tracción virtual se calcula a partir de estos campos de potencial, permitiendo que el robot controle su movimiento de manera autónoma. Los resultados de simulación confirman la efectividad de esta estrategia. La teoría mejorada se aplica también al control de la planificación de la ruta, utilizando información del entorno y la postura del robot para generar un campo de potencial virtual que mejora la eficiencia de su marcha autónoma. Este documento valida la viabilidad de esta estrategia mediante experimentos de simulación.

- ".A Stable Trot Strategy of Quadraped Robot Based on Capture Point"

El trote es un estilo de movimiento dinámico para robots cuadrúpedos que permite movimientos rápidos y eficientes, aunque el equilibrio y la estabilidad al caminar representan desafíos para su control. En este artículo, se desarrolla el modelo dinámico del robot utilizando el método de Lagrange y se obtiene un modelo dinámico con restricciones basado en la descomposición QR de la matriz de mapeo de fuerzas externas de la pata de apoyo. El proceso de trote se modela aproximadamente como el desplazamiento del péndulo invertido lineal (LIPM). Se calcula la trayectoria de la pata oscilante durante el trote basándose en el principio del punto de captura para robots bípedos. Además, mediante un método de optimización del par de torsión de las articulaciones, se calcula la dinámica

inversa del robot y se determina el par de torsión de cada articulación. Los resultados de la simulación demuestran la estabilidad del trote del robot cuadrúpedo utilizando el método propuesto. Se presenta un método de control para estabilizar el movimiento de trote del robot cuadrúpedo, que utiliza un modelo dinámico con restricciones y el cálculo del punto de captura para predecir el contacto del suelo con la pata oscilante. Con el control proporcional-derivativo (PD) y el método de dinámica inversa, se obtienen los torques de cada articulación. La simulación realizada confirma la estabilidad del trote del robot cuadrúpedo utilizando este enfoque de control.

0.2.1. Justificación

Al seleccionar el proyecto del robot renacuajo, además de integrar una aplicación móvil para controlarlo, se basa en la comprensión de las necesidades educativas y el potencial de aprendizaje de los niños de entre 6 y 9 años en un mundo cada vez más tecnológico. Este enfoque innovador tiene como objetivo abordar varios desafíos clave en la educación de los niños en estas edades, mientras se aprovechan las oportunidades de aprendizaje que ofrece la tecnología moderna.

En primer lugar, la selección de la materia se fundamenta en la relevancia y la importancia de enseñar conceptos básicos de tecnología, resolución de problemas y programación desde una edad temprana. Estas habilidades son fundamentales para el éxito futuro en una sociedad impulsada por la tecnología y preparan a los niños para enfrentar los desafíos del siglo XXI.

Además, la integración de una aplicación móvil en el proyecto amplía las oportunidades de aprendizaje al ofrecer una experiencia interactiva y práctica para los niños. La aplicación no solo permite controlar el robot, sino que también sirve como una herramienta educativa adicional para enseñar conceptos de programación de manera intuitiva y divertida.

El proyecto del robot renacuajo proporciona un contexto concreto y relevante para la enseñanza de estos conceptos, ya que los niños están involucrados en la programación y control de un robot físico mientras exploran y resuelven desafíos en un entorno lúdico y estimulante.

La combinación de un robot renacuajo y una aplicación móvil ofrece una experiencia educativa integral que fomenta el pensamiento crítico, la creatividad, la resolución de problemas y el interés por la tecnología en los niños de 6 a 9 años. Este enfoque holístico y centrado en el alumno garantiza que los niños adquieran habilidades y conocimientos valiosos mientras se divierten y se comprometen activamente en su aprendizaje.

0.3. Metodología

El proceso de diseño de dispositivo se basa en un enfoque centrado en el usuario, donde las necesidades y preferencias de los niños son prioritarias en todas las etapas del desarrollo. Teniendo en cuenta las características y expectativas de los usuarios potenciales, lo que ha permitido definir claramente los requisitos de diseño y funcionalidad del robot.

Además, se ha integrado un enfoque iterativo en el desarrollo de robot, permitiendo la revisión y mejora continua del diseño en función del feedback de los usuarios y evaluaciones de reusabilidad. Esto garantiza que el robot final no solo sea educativo y divertido, sino también intuitivo y fácil de usar para los niños.

La metodología de diseño del robot se fundamenta en la combinación de investigación centrada en el usuario, desarrollo iterativo y enfoque en la experiencia del usuario, con el objetivo de ofrecer un robot educativo que inspire y motive a los niños a explorar el fascinante mundo

de la tecnología y la robótica.

En toda investigación, se proponen tres tipos de objetivos:

- Comprender a fondo la interacción y funcionamiento de los componentes electrónicos y software del robot renacuajo, enfatizando el uso de tecnologías modernas para el control y operación del robot.
- Desarrollar habilidades avanzadas de resolución de problemas y pensamiento crítico, enfocadas en la programación y optimización de las funciones del robot, abordando desafíos específicos que surgen en su control y operación.
- Introducir y reforzar conceptos clave de programación, utilizando la aplicación móvil como una plataforma educativa para enseñar lógica secuencial, condicionales, y control de flujo.

0.3.1. Diseño Conceptual

El diseño se basa en un robot renacuajo que tiene como finalidad introducir a los niños en el campo de la robótica y programación de manera práctica y didáctica. El diseño conceptual incluye la definición de las funciones básicas del robot, que incluyen el movimiento autónomo, la detección de obstáculos y la posibilidad de ser modificado mediante programación. Se muestra en la siguiente imagen al dispositivo en cuestión:



Figura 0.1: Diseño conceptual del robot

El cual cuenta con los componentes:

- Chasis impreso en 3D
- Placa base programable Arduino
- Sensores infrarrojos y de luz,
- Motores
- Módulo Bluetooth.

0.3.2. Diseño Mecánico

- **Estructura del Chasis:**

El chasis está diseñado para ser ligero y resistente, utilizando piezas plásticas que se pueden imprimir en 3D. Las dimensiones y la forma del chasis deben permitir la integración de todos los componentes electrónicos de manera compacta.

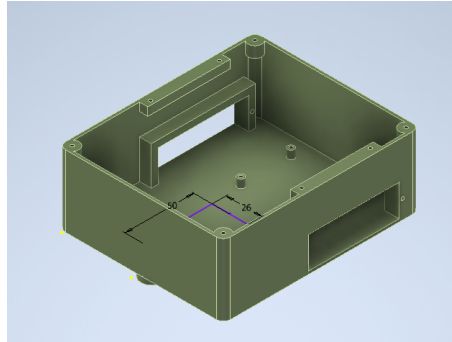


Figura 0.2: Diseño mecánico del robot chasis parte frontal

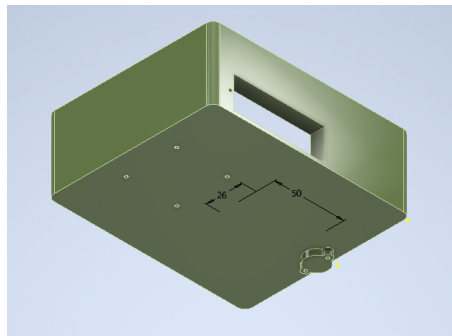


Figura 0.3: Diseño mecánico del robot chasis parte posterior

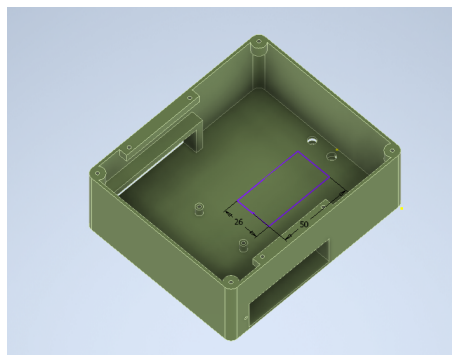


Figura 0.4: Diseño mecánico del robot chasis parte superior

■ Montaje:

Debido a que los elementos para el montaje se encuentran visibles y posiblemente causen

problemas a los niños, se colocó una tapa para recubrir todo el montaje del circuito. De manera que el dispositivo sea seguro e impenetrable.

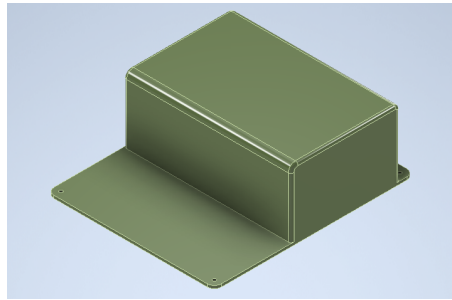


Figura 0.5: Diseño mecánico del robot tapa parte frontal

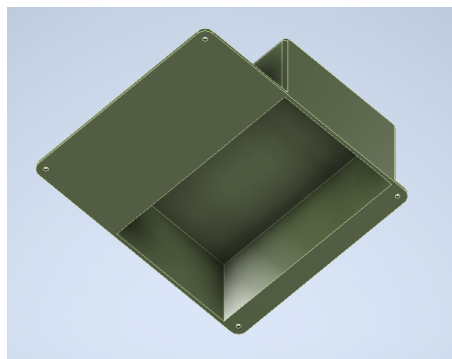


Figura 0.6: Diseño mecánico del robot tapa parte inferior

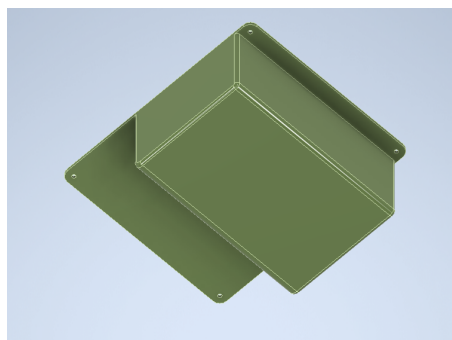


Figura 0.7: Diseño mecánico del robot tapa parte superior

- **Diseño CAD final (Unido):**

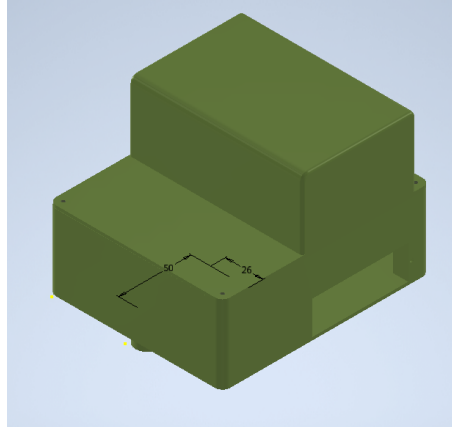


Figura 0.8: Diseño mecánico del robot renacuajo final

Finalmente se tienen las dimensiones y características de los elementos utilizados en la estructura representada en los diferentes planos:

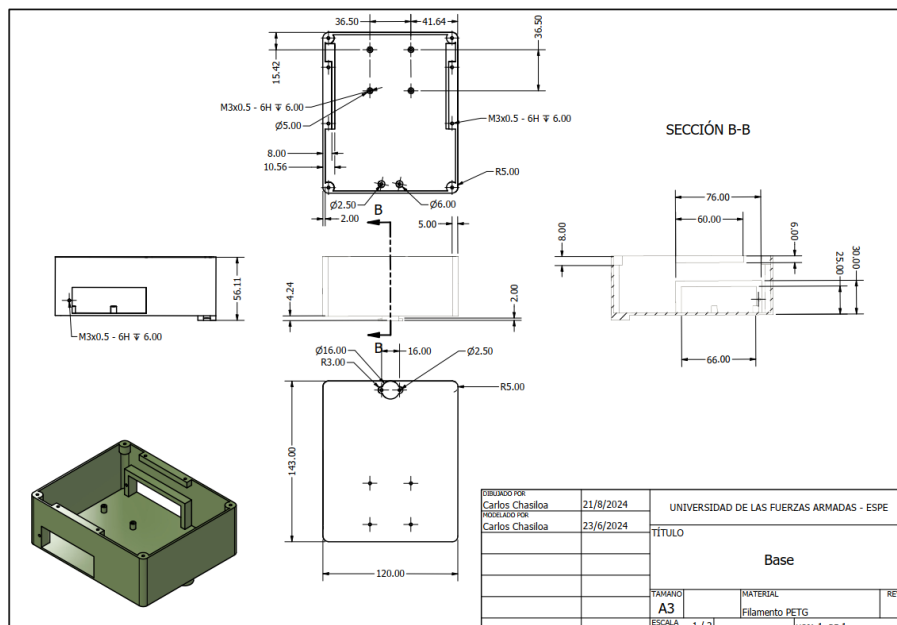


Figura 0.9: Plano de la base

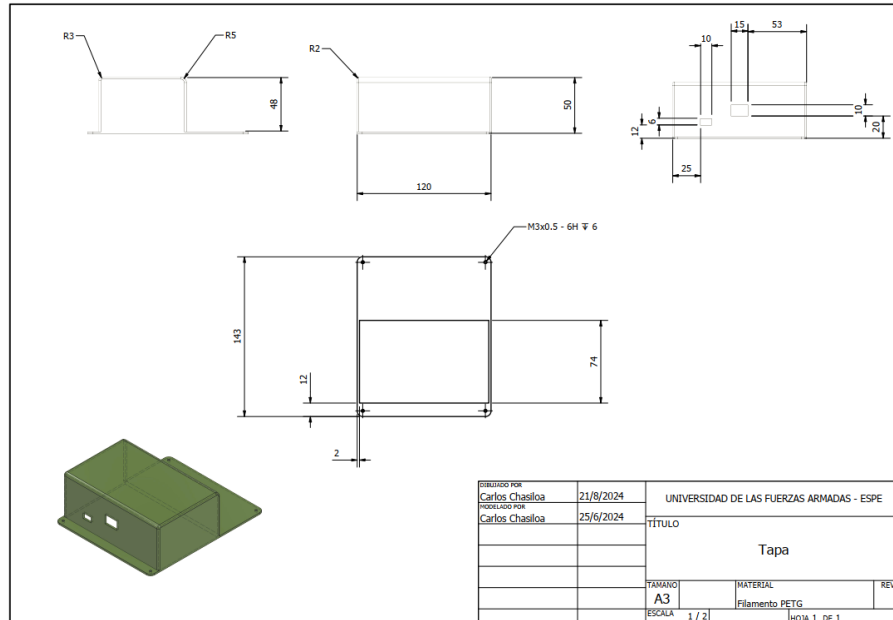


Figura 0.10: Plano de la tapa

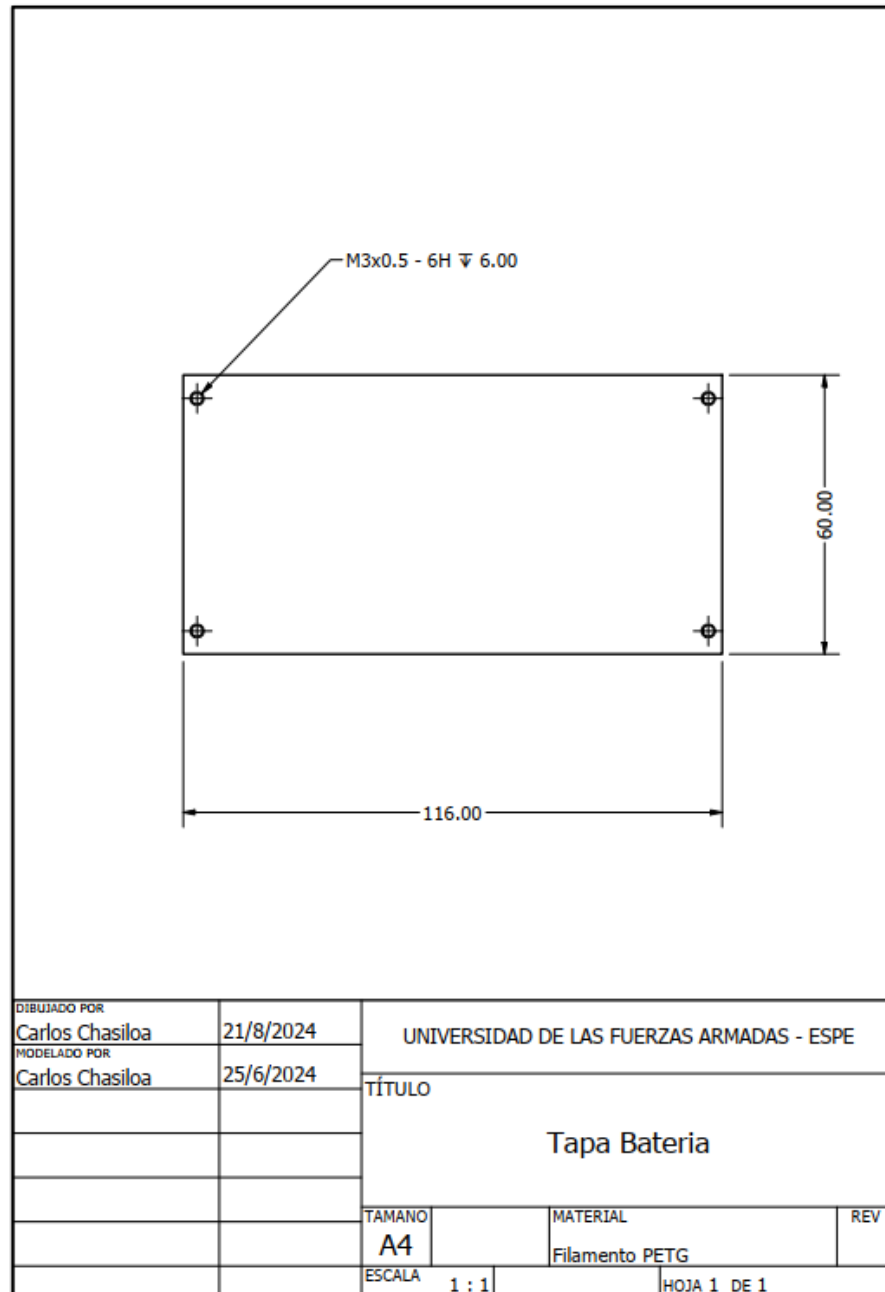


Figura 0.11: Plano de la tapa de la bateria

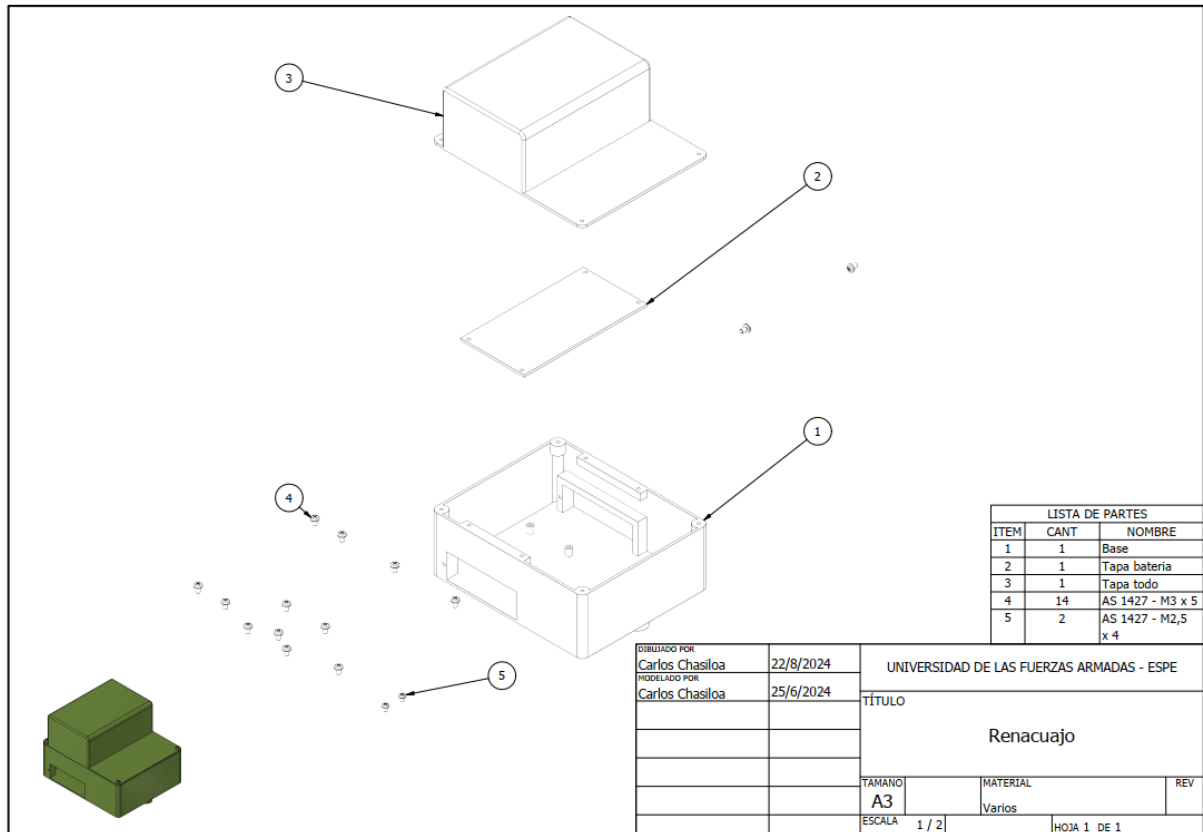


Figura 0.12: Plano de ensamble

0.3.3. Diseño Electrónico

El circuito del sistema consta de los siguientes componentes:

- 1 módulo ESP32
- 1 módulo L298n
- 2 motores DC + llanta
- 1 rueda loca de 10 mm

- [illegible]

El esquema que se muestra podemos detallar la configuración de los componentes del robot renacuajo:

La fuente de alimentación (VCC) se conecta a un interruptor ('SW1', etiquetado como '8JS-1274J-G5') que permite encender o apagar el circuito. El 'VCC' también alimenta el módulo 'L298N DUAL H-BRIDGE MOTOR DRIVER MODULE' y el convertidor Buck ('U2').

2. Interruptor (SW1):

Este interruptor está conectado entre la fuente de alimentación principal (VCC) y la entrada de energía del resto del circuito. Al cerrarse, permite que la corriente fluya hacia los componentes conectados.

3. Convertidor Buck ('U2'):

Un convertidor Buck que se utiliza para reducir la tensión de entrada ('In+' y 'In-') a una tensión más baja en la salida ('Out+' y 'Out-'). En este circuito, se usa para alimentar el ESP32 ('U1') con una tensión regulada.

4. Módulo de Puente H Doble ('L298N DUAL H-BRIDGE MOTOR DRIVER MODULE'):

El módulo controla los motores y tiene cuatro salidas ('OUT1', 'OUT2', 'OUT3', 'OUT4'), conectadas a 2 motores. En cambio las entradas del módulo ('IN1', 'IN2', 'IN3', 'IN4', 'ENA', 'ENB') están conectadas al ESP32, lo que le permite al microcontrolador controlar la dirección y velocidad de los motores. Los 'ENA' y 'ENB' son los pines de habilitación para los dos puentes H en el módulo.

5. ESP32 ('U1'):

El ESP32 está conectado al módulo L298N para controlar los motores. Los pines GPIO del ESP32 están conectados a los pines de entrada del módulo L298N.

0.3.4. Software y Comunicaciones

Se desarrolló una aplicación interactiva diseñada para que los niños aprendan los conceptos básicos de programación mediante bloques visuales. Estos bloques permiten programar movimientos sencillos, que el robot interpreta y ejecuta en tiempo real. La interfaz de usuario de la aplicación está organizada en tres ventanas principales, que son:

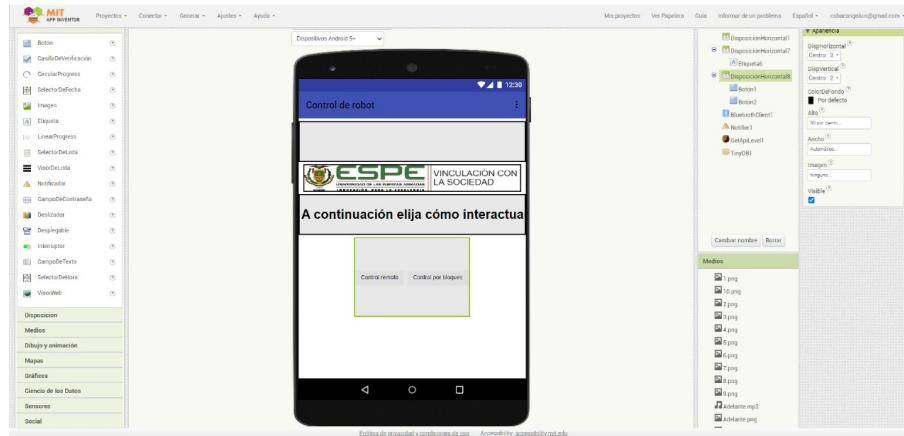


Figura 0.14: Aplicación móvil: ventana de introducción al proyecto

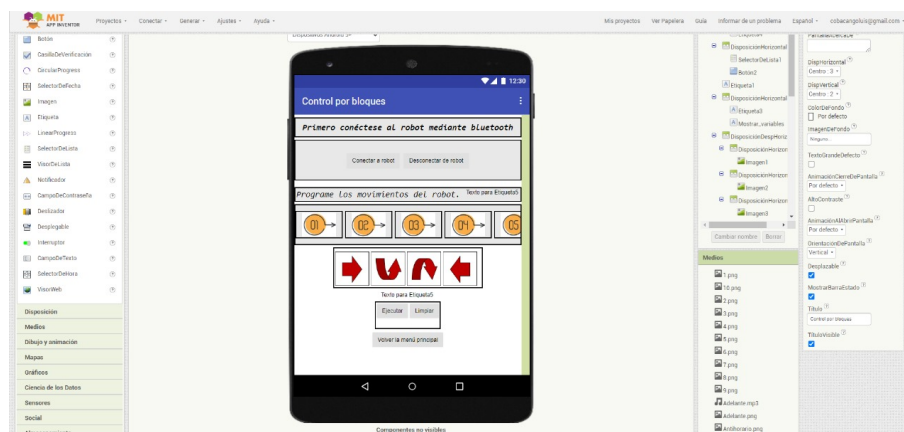


Figura 0.15: Aplicación móvil: ventana de programación básica en bloques

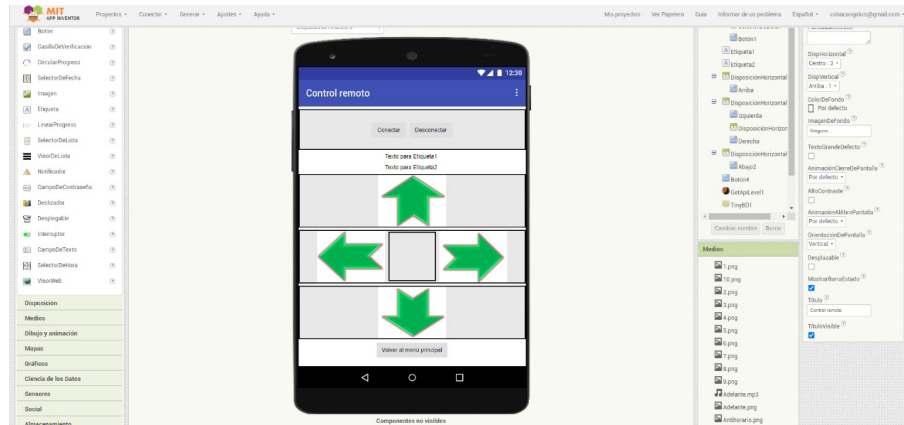


Figura 0.16: Aplicación móvil: ventana de acciones para la movilidad del robot

Adicional la ESP32 se programo con el siguiente codigo:

```
rBOT.ino
1  #include <BluetoothSerial.h>
2
3  BluetoothSerial SerialBT; // Objeto para manejar la comunicación Bluetooth
4
5  //Motor A
6  const int ENA = 15;
7  const int INA1 = 14;
8  const int INA2 = 5;
9
10 //Motor B
11 const int ENB = 13;
12 const int INB1 = 4;
13 const int INB2 = 26;
14
15 void setup() {
16   Serial.begin(9600);
17   SerialBT.begin("ESP32 rBOT"); // Inicializar el Bluetooth y asignar un nombre
18   //Serial.println(F("Prueba DHT11!"));
19
20   //dht.begin();
21
22   pinMode(ENA, OUTPUT);
23   pinMode(INA1, OUTPUT);
24   pinMode(INA2, OUTPUT);
25   pinMode(ENB, OUTPUT);
26   pinMode(INB1, OUTPUT);
27   pinMode(INB2, OUTPUT);
28
29   digitalWrite(ENA, LOW);
30   digitalWrite(INA1, LOW);
31   digitalWrite(INA2, LOW);
32   digitalWrite(ENB, LOW);
33   digitalWrite(INB1, LOW);
34   digitalWrite(INB2, LOW);
35 }
36
```

Figura 0.17: Declaración de objetos y configuración inicial


```

rBOT.ino
37 void loop() {
38   if (SerialBT.available()) { // Verificar si hay datos disponibles para leer
39     char data = SerialBT.read();
40     if (data != 'S'){
41       switch (data) {
42         case 'A':
43           adelante();
44           Serial.println("Adelante");
45           break;
46         case 'B':
47           antihorario();
48           Serial.println("Izquierda");
49           break;
50         case 'C':
51           horario();
52           Serial.println("Derecha");
53           break;
54         case 'D':
55           atras();
56           Serial.println("Atrás");
57           break;
58         case 'X':
59           stop();
60           Serial.println("Detener");
61           break;
62       }
63     }else{
64       char receivedData[8];
65     }
66   }
67 }
68
69

```

Figura 0.18: Bucle principal

```

rBOT.ino
69
70   for (int i = 0; i < 7; i++) {
71     receivedData[i] = SerialBT.read(); // Leer el carácter recibido
72   }
73   receivedData[7] = '\0'; // Añadir el terminador nulo al final del array
74
75   for (int i = 0; i < 7; i++) {
76     //String enviar =
77     if (receivedData[i] == 'A') {
78       adelante();
79       Serial.println("Adelante");
80       SerialBT.print("Adelante");
81     }
82     if (receivedData[i] == 'B') {
83       antihorario();
84       Serial.println("Izquierda");
85       SerialBT.print("Izquierda");
86     }
87     if (receivedData[i] == 'C') {
88       horario();
89       Serial.println("Derecha");
90       SerialBT.print("Derecha");
91     }
92     if (receivedData[i] == 'D') {
93       atras();
94       Serial.println("Atrás");
95       SerialBT.print("Atrás");
96     }
97     if (receivedData[i] == 'X') {
98       stop();
99       Serial.println("Detener");
100      SerialBT.print("Detener");
101    }
102    delay(200);
103  }
104

```

Figura 0.19: Continuación del código del bucle principal

```

rBOT.ino
110 void adelante(){
111     digitalWrite(ENA, HIGH);
112     digitalWrite(INA1, HIGH);
113     digitalWrite(INA2, LOW);
114     digitalWrite(ENB, HIGH);
115     digitalWrite(INB1, HIGH);
116     digitalWrite(INB2, LOW);
117 }
118 void atras(){
119     digitalWrite(ENA, HIGH);
120     digitalWrite(INA1, LOW);
121     digitalWrite(INA2, HIGH);
122     digitalWrite(ENB, HIGH);
123     digitalWrite(INB1, LOW);
124     digitalWrite(INB2, HIGH);
125 }
126 void horario(){
127     digitalWrite(ENA, HIGH);
128     digitalWrite(INA1, LOW);
129     digitalWrite(INA2, HIGH);
130     digitalWrite(ENB, HIGH);
131     digitalWrite(INB1, HIGH);
132     digitalWrite(INB2, LOW);
133 }
134 void antihorario(){
135     digitalWrite(ENA, HIGH);
136     digitalWrite(INA1, HIGH);
137     digitalWrite(INA2, LOW);
138     digitalWrite(ENB, HIGH);
139     digitalWrite(INB1, LOW);
140     digitalWrite(INB2, HIGH);
141 }
142 void stop(){
143     digitalWrite(ENA, LOW);
144     digitalWrite(INA1, LOW);

```

Figura 0.20: Funciones para el movimiento de los motores

Funcionamiento general: al iniciar, el ESP32 configura la comunicación Bluetooth utilizando la biblioteca BluetoothSerial y asigna el nombre "rBoT" para que pueda ser detectado por otros dispositivos. Los pines que controlan los motores son configurados como salidas, y los motores se inicializan en estado apagado. En el bucle principal (loop()), el ESP32 está constantemente verificando si ha recibido algún comando desde el dispositivo Bluetooth conectado. Al recibir un comando, este se procesa para determinar la acción que el robot debe realizar. Si el comando recibido es una letra individual (como 'A', 'B', 'C', 'D', 'X'), el robot realiza la acción correspondiente:

- 'A' – Mover hacia adelante.
- 'B' – Girar hacia la izquierda.

- 'C' – Girar hacia la derecha.
- 'D' – Mover hacia atrás.
- 'X' – Detenerse.

Caso contrario si el comando recibido es 'S', el código espera recibir una secuencia de 7 caracteres adicionales. Cada carácter de la secuencia se evalúa, y el robot realiza la acción correspondiente a cada carácter de la secuencia.

0.4. RESULTADOS

0.4.1. Protocolos de pruebas

1. Prueba de conectividad: Verificar que el robot renacuajo se conecta correctamente a la aplicación móvil.

Procedimiento: Encender el robot y la aplicación móvil. Establecer la conexión entre el robot y la aplicación mediante Bluetooth o Wi-Fi. Confirmar que la conexión es estable durante un periodo de 5 minutos.

2. Prueba de funcionalidad de movimiento: Comprobar que los movimientos programados en la aplicación se ejecutan correctamente por el robot.

Procedimiento: Programar una secuencia de movimientos básicos (avanzar, retroceder, girar a la izquierda, girar a la derecha) en la aplicación. Ejecutar la secuencia en el robot. Observar y registrar si el robot realiza los movimientos de manera precisa.

3. Prueba de respuesta a comandos: Evaluar el tiempo de respuesta del robot a los comandos enviados desde la aplicación.

Procedimiento: Enviar diferentes comandos desde la aplicación (movimiento, luces, sonidos). Medir el tiempo que tarda el robot en responder a cada comando.

0.4.2. Resultados de las pruebas realizadas

1. Prueba de conectividad: El prototipo realiza la conexión de manera exitosa, se adjuntan en anexos capturas de la conexión al teléfono.
2. Prueba de funcionalidad de movimiento: Como se observa en el vídeo adjuntado al drive de los archivos, se comprueba el funcionamiento del prototipo, en respuesta a los comando enviados desde el teléfono.
3. Prueba de respuesta a comandos: Así mismo, en el vídeo podemos observar una vez son ingresados los comandos la respuesta es inmediata, no existe un retraso que sea tomado en cuenta.

0.4.3. Resultados del robot renacuajo

1. Finalmente se tiene después del diseño conceptual la implementación del circuito, esquema mecánico y programación de bloques con conexión bluetooth dando como resultado el siguiente prototipo final

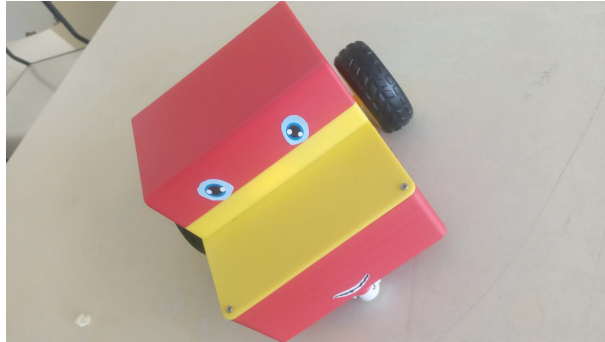


Figura 0.21: Presentación del modelo final

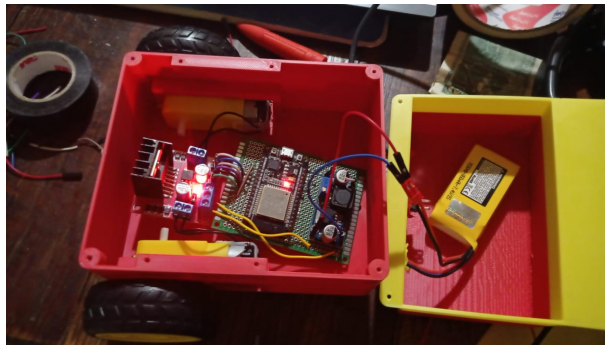


Figura 0.22: Diagrama de conexión interna del prototipo

0.5. CONCLUSIONES

0.5.1. Conclusiones

- La elección de un robot renacuajo como herramienta educativa, combinada con una aplicación móvil, es adecuada para introducir a los niños de 6 a 9 años en conceptos de tecnología y programación. Este enfoque lúdico y práctico ayuda a captar su interés y facilita el aprendizaje de habilidades técnicas esenciales desde una edad temprana.
- La metodología centrada en el usuario ha permitido desarrollar un robot que responde

a las necesidades y preferencias de los niños. La implementación de un diseño iterativo asegura que el robot no solo sea funcional, sino también intuitivo y atractivo para los usuarios jóvenes.

- La combinación de un diseño mecánico robusto, con una estructura segura y componentes electrónicos bien integrados, ofrece una solución completa y segura. El uso de impresoras 3D para el chasis y la implementación de una tapa protectora garantizan la durabilidad y seguridad del robot.
- La aplicación móvil complementa eficazmente el robot al permitir a los niños programar y controlar el dispositivo mediante bloques visuales. Esto facilita el aprendizaje de conceptos de programación de manera divertida y accesible.
- La aplicación del enfoque iterativo y la incorporación de feedback continuo han sido clave para mejorar el diseño del robot y su funcionalidad, asegurando una experiencia educativa efectiva y adaptable a las necesidades de los niños.

0.5.2. Recomendaciones

- Desarrollar material educativo adicional, como guías de actividades o tutoriales en video, que acompañen la aplicación móvil y el robot. Esto puede ayudar a los niños a explorar conceptos más avanzados y a los educadores a utilizar el robot como herramienta didáctica en diferentes contextos.
- Revisar y optimizar el diseño electrónico para garantizar la eficiencia energética y la fiabilidad del sistema. Considerar la posibilidad de incluir características adicionales como una batería de mayor duración o una opción de carga rápida.

- Establecer un sistema para recolectar retroalimentación continua de los usuarios y educadores, lo que permitirá realizar mejoras iterativas y asegurar que el robot siga siendo relevante y efectivo en el tiempo.

Bibliografía

- [1] K. Cho, S. H. Baeg, and S. Park, “3D pose and target position estimation for a quadruped walking robot,” *2013 10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Jeju, Korea (South), 2013, pp. 466-467, doi: 10.1109/URAI.2013.6677313. Keywords: *Robots; Ambient intelligence; quadruped robot; IMU; object detection.*
- [2] J. Seo, J. Cho, B. -Y. Park, J. Kim, and S. Park, “Leg mechanism design for SLIP model of hydraulic quadruped robot,” *2014 11th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2014, pp. 461-466, doi: 10.1109/URAI.2014.7057457. Keywords: *Legged locomotion; Joints; Actuators; Springs; Robot sensing systems; Hip; Quadruped robot; Mechanism design; SLIP.*
- [3] J.-W. Chung, I.-H. Lee, B.-K. Cho, and J.-H. Oh, “Posture Stabilization Strategy for a Trotting Point-foot Quadruped Robot,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 72, no. 3-4, pp. 325–341, 2013. doi: 10.1007/s10846-012-9812-4.
- [4] M. Piao, G. Dai, and G. Ding, “Gait planning and simulation of quadruped robot climbing one-step stair,” *2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, Chongqing, China, 2020, pp. 797-802, doi:

10.1109/ITAIC49862.2020.9338848. Keywords: *Stairs; Stability analysis; Trajectory; Planning; Collision avoidance; Robots; Foot; quadruped robot; gait planning; center of mass adjusting; one-step stair; joint simulation.*

- [5] W. Peng, Y. Zhiwei, Z. Cheng, and D. Zhendong, “Embedded control system design and experimental analysis of bionic quadruped robot,” *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, Changsha, China, 2014, pp. 4187-4191, doi: 10.1109/CCDC.2014.6852915. Keywords: *Legged locomotion; Servomotors; Robot kinematics; Robot sensing systems; bionic quadruped robot; Stm32f103vct6; embedded control system.*
- [6] W. Jia, Z. Huang, Y. Sun, H. Pu, and S. Ma, “Toward a novel deformable robot mechanism to transition between spherical rolling and quadruped walking,” *2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Macau, Macao, 2017, pp. 1539-1544, doi: 10.1109/ROBIO.2017.8324636. Keywords: *Legged locomotion; Gravity; Robot kinematics; Friction; Trajectory; transformable robot; spherical rolling; quadruped walking; multi-mode locomotion.*
- [7] S. Wasista, H. Tjandrasa, and W. Wibisono, “Swing Trajectory Model for the New Design of Quadruped Robot Using V-REP Simulator,” *2020 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, Surabaya, Indonesia, 2020, pp. 274-279, doi: 10.1109/CENIM51130.2020.9297912. Keywords: *Legged locomotion; Robots; Robot kinematics; Kinematics; Trajectory; Mathematical model; Shoulder; Quadruped Robot; Swing Trajectory Model; Robotic Simulation.*
- [8] S. Zhang, M. Fan, Y. Li, X. Rong, and M. Liu, “Generation of a continuous free gait for quadruped robot over rough terrains,” *Advanced Robotics*, vol. 33, no. 2, pp. 74–89, 2019.

doi: 10.1080/01691864.2019.1566089.

- [9] H. Komatsu, G. Endo, R. Hodoshima, S. Hirose, and E. F. Fukushima, “How to optimize the slope walking motion by the quadruped walking robot,” *Advanced Robotics*, vol. 29, no. 23, pp. 1497–1509, 2015. doi: 10.1080/01691864.2015.1081103.
- [10] X. Chen, K. Watanabe, K. Kiguchi, and K. Izumi, “Implementation of omnidirectional crawl for a quadruped robot,” *Advanced Robotics*, vol. 15, no. 2, pp. 169–190, 2001. doi: 10.1163/15685530152116218.
- [11] J. W. Chung, I. W. Park, and J. H. Oh, “On the Design and Development of a Quadruped Robot Platform,” *Advanced Robotics*, vol. 24, no. 1–2, pp. 277–298, 2010. doi: 10.1163/016918609X12586214966992.
- [12] Z. G. Zhang, H. Kimura, and Y. Fukuoka, “Autonomously generating efficient running of a quadruped robot using delayed feedback control,” *Advanced Robotics*, vol. 20, no. 6, pp. 607–629, 2006. doi: 10.1163/156855306777361659.
- [13] H. Hwang and Y. Youm, “Steady Crawl Gait Generation Algorithm for Quadruped Robots,” *Advanced Robotics*, vol. 22, no. 13–14, pp. 1539–1558, 2008. doi: 10.1163/156855308X360640.
- [14] Y. Liu, L. Jiang, F. Zou, B. Xing, Z. Wang, and B. Su, “Research on path planning of quadruped robot based on globally mapping localization,” *2020 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*, Harbin, China, 2020, pp. 346–351, doi: 10.1109/ICUS50048.2020.9275012. Keywords: *Legged locomotion; Robots; Q measurement; Planning; Optimization; Navigation; Micromechanical devices; path planning; localization; quadruped robot; Dijkstra algorithm; autonomous walking.*

- [15] S. Schaal, A. J. Ijspeert, A. Billard, S. Vijayakumar, and J.-A. Meyer, "Biologically Inspired Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot," in *From Animals to Animats 8: Proceedings of the Eighth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior*, MIT Press, 2004, pp. 201-210.
- [16] Y. Son, T. Kamano, T. Yasuno, T. Suzuki, and H. Harada, "Generation of adaptive gait patterns for quadruped robot with CPG network including motor dynamic model," *Journal of Electrical Engineering & Automation*, 2006. doi: 10.1002/eej.20225.
- [17] J. T. Kim, J. S. Cho, B.-Y. Park, S. Park, and Y. Lee, "Experimental investigation on the design of leg for a hydraulic actuated quadruped robot," *IEEE ISR 2013*, Seoul, Korea (South), 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISR.2013.6695685. Keywords: *Robot sensing systems; Legged locomotion; Pistons; Shafts; Biology; Quadruped Robot; Hydraulic Actuation; Trotting Robot; Mechanical Design.*
- bibitemwang2013 H. Wang, D. Fang, L. Sang, Y. Wang, Y. Wen, and N. Chen, "Gait planning of the quadruped walking chair robot with parallel leg mechanism," *2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Takamatsu, Japan, 2013, pp. 13-18, doi: 10.1109/ICMA.2013.6617886. Keywords: *Legged locomotion; Robot kinematics; Planning; Gravity; Stability criteria; static stability; parallel leg mechanism; gait planning; quadruped walking chair.*
- [18] P. Xu et al., "An efficient autonomous traction control method for quadruped robot," *2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*, Beijing, China, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICUS.2017.8278307. Keywords: *Legged locomotion; Robot ki-*

nematics; Robot sensing systems; Force; Path planning; quadruped robot; virtual traction force; body spring-damp virtual controller; efficient traction control.

- [19] C. Tang, F. Xu, and F. Zou, “A Stable Trot Strategy of Quadruped Robot Based on Capture Point,” *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 427-431, doi: 10.1109/CYBER.2017.8446191. **Keywords:** *Legged locomotion; Trajectory; Dynamics; Robot kinematics; Force; Quadrupedal robot; LIPM; Capture point; Inverse dynamic.*

[20]

tuprofedetecno. (2022). VISTAS ROBOT RENACUAJO. Blogspot.com. <https://tuprofedetprpt.blogspot.com/p/vistas-robot-renacuajo.html>

““

0.6. Anexos



Figura 0.23: Conexión de la aplicación móvil al prototipo 1

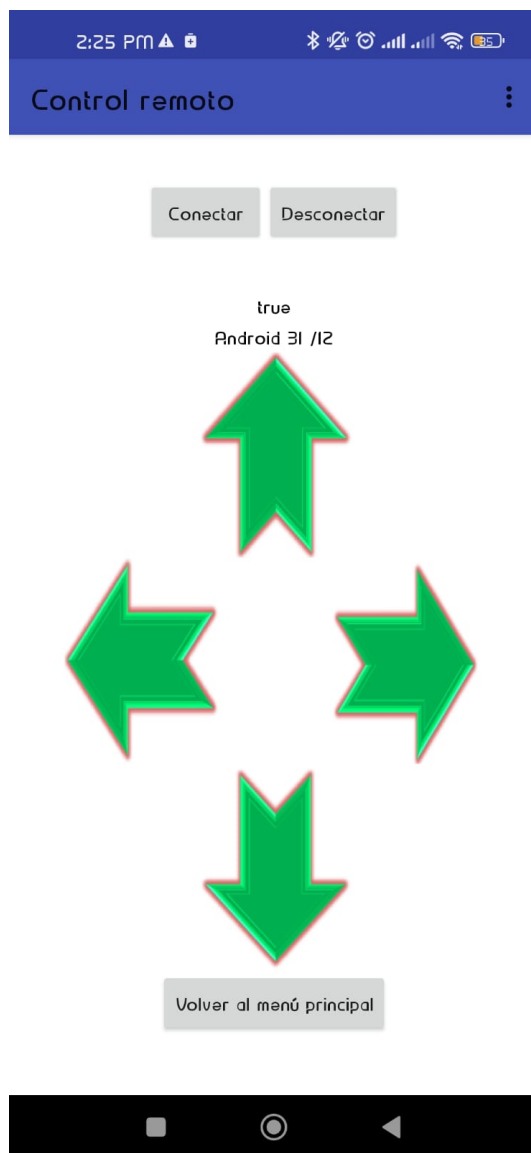


Figura 0.24: Conexión de la aplicación móvil al prototipo 2

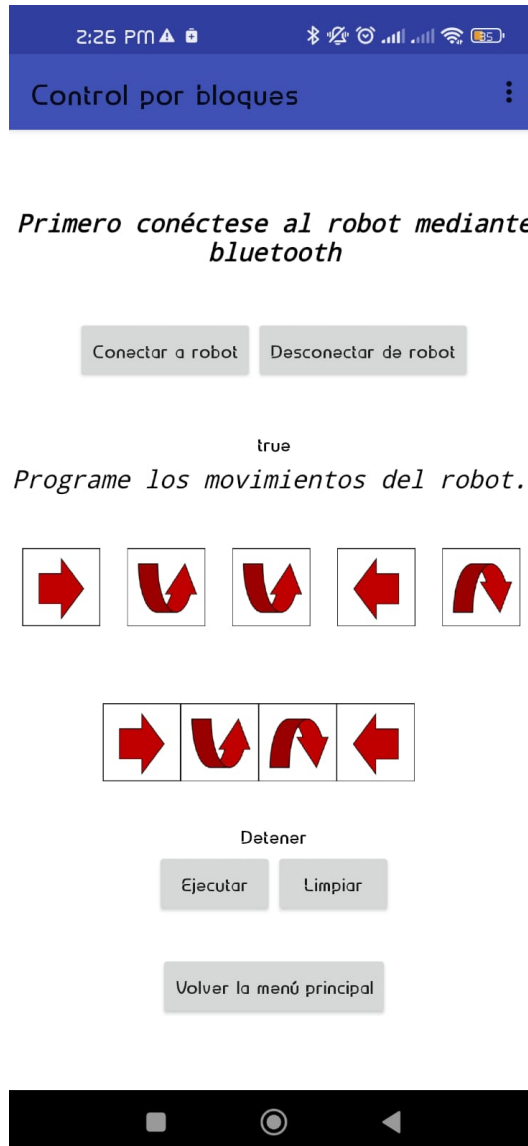


Figura 0.25: Conexión de la aplicación móvil al prototipo 3

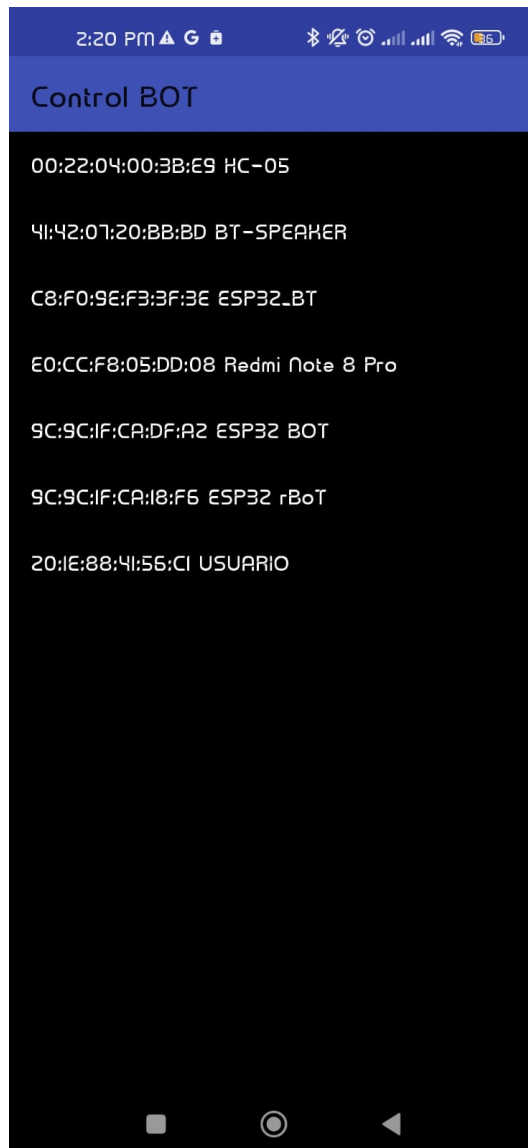


Figura 0.26: Conexión de la aplicación móvil al prototipo 4

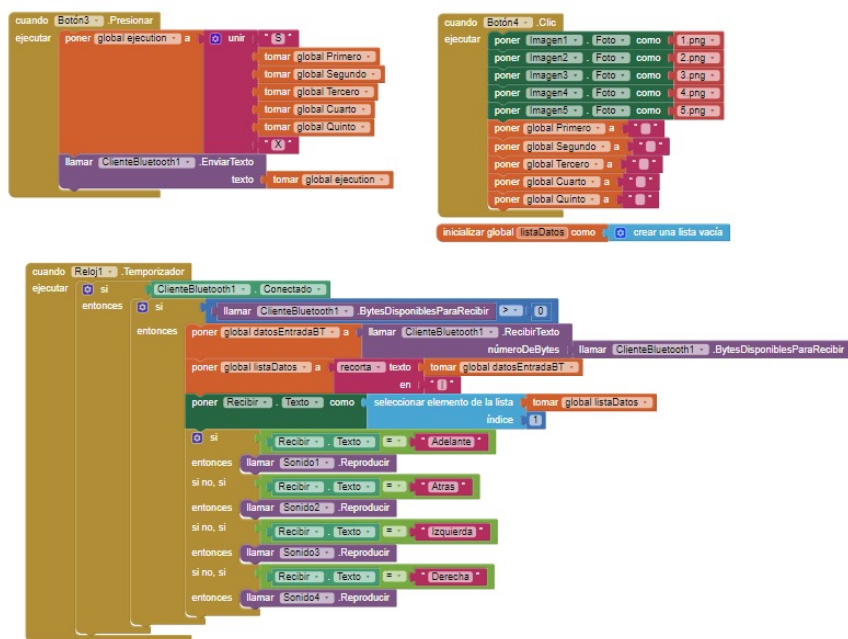


Figura 0.27: Programación en bloques de la app móvil 1

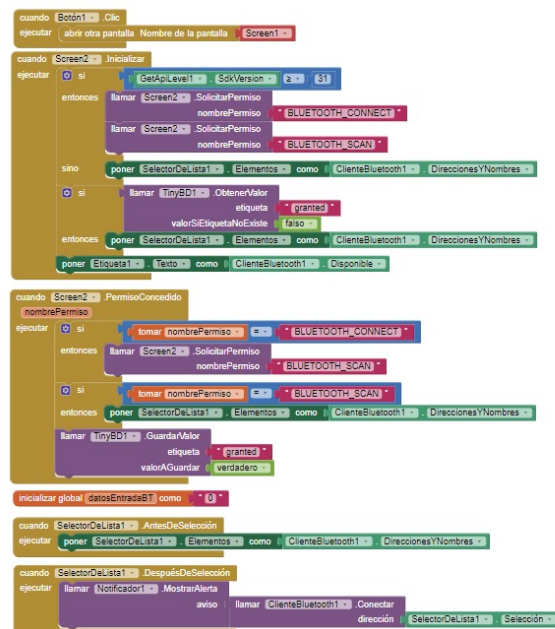


Figura 0.28: Programación en bloques de la app móvil 2

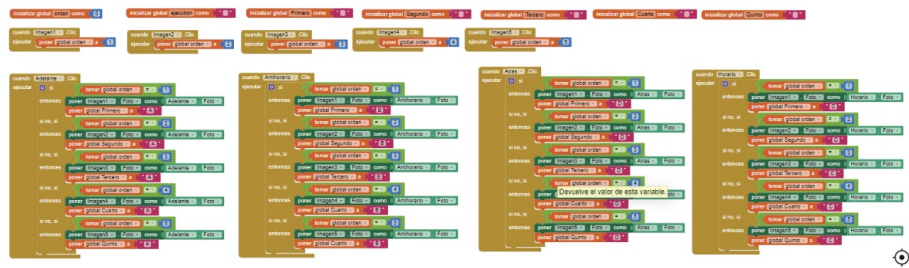


Figura 0.29: Programación en bloques de la app móvil 3