



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Optimización de la eficiencia energética del robot CINEBOT

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Autor: Gallo Fierro, César Daniel

Director: Villamagua Conza, Luis Miguel

LOJA

2023



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2023

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 28 de marzo del 2023

Doctor

Francisco Alberto Sandoval Noreña

Director de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Optimización de la eficiencia energética del robot CINEBOT realizado por Cesar Daniel Gallo Fierro ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: PhD. Luis Miguel Villamagua Conza

C.I.: 1104566045

Correo electrónico: lmvillamagua@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Cesar Daniel Gallo Fierro, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor (a) del Trabajo de Titulación denominado: Optimización de la eficiencia energética del robot CINEBOT, de la carrera de Electrónica y telecomunicaciones, específicamente de los contenidos comprendidos en: Capítulo 1: Estado del arte, Capítulo 2: Análisis energético del prototipo sin optimización, Capítulo 3: Diseño del nuevo prototipo optimizado, Capítulo 4: Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, siendo Luis Miguel Villamagua Conza, director (a) del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Cesar Daniel Gallo Fierro

C.I.: 1105733974

Correo electrónico: cdgallo@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, quienes siempre han sido mi mayor apoyo y motivación en mi carrera universitaria. Gracias por su amor incondicional, por su sacrificio y esfuerzo constante para brindarme las mejores oportunidades. Este logro es también suyo, ya que sin su apoyo y guía no hubiera sido posible alcanzarlo. Agradezco de corazón su presencia en mi vida y su ejemplo inspirador de perseverancia y dedicación. Este trabajo es un homenaje a su amor y entrega.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo de titulación. En primer lugar, agradezco a mis profesores y compañeros de carrera por su valiosa contribución en mi formación académica y en la consolidación de mis ideas y conocimientos. Agradezco también a los participantes de mi investigación, quienes generosamente brindaron su tiempo y colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su constante apoyo, motivación y aliento durante toda mi carrera universitaria. Su amor y comprensión han sido el combustible que me ha mantenido en pie durante los momentos más difíciles. Este logro no habría sido posible sin su presencia en mi vida.

Este trabajo de titulación es una muestra del esfuerzo y compromiso de todos aquellos que me han acompañado en este camino. Les agradezco de corazón por su aporte y espero poder retribuirles en el futuro con mi desempeño profesional.

Índice de contenido

Aprobación del director del Trabajo de Titulación	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido	VII
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo uno.....	7
Estado del arte	7
1.1 Problemática	7
1.2 Objetivos	7
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	7
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.3 Justificación e importancia del trabajo de titulación	8
1.4 Marco teórico y proyectos relacionados.....	8
1.4.1 <i>Eficiencia energética</i>	9
1.4.2 <i>Laboratorio remoto</i>	10
1.4.3 <i>Cinebot</i>	11
1.4.4 <i>Proyectos relacionados</i>	14
1.4.5 <i>Metodología y arquitectura del sistema</i>	16
Capítulo dos.....	17
Análisis energético del prototipo sin optimización	17

2.1	Pruebas de duración de batería con el robot sin masa añadida.....	18
2.2	Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 1 Kg de masa	19
2.3	Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 1,5 Kg de masa	19
2.4	Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 2 Kg de masa	20
2.5	Figura de méritos del prototipo sin optimizar	21
Capítulo tres.....		22
Diseño del nuevo prototipo optimizado.....		22
3.1	Componentes a utilizar	22
3.1.1	<i>Motores</i>	22
3.1.2	<i>Batería</i>	24
3.2	Modelado 3D.....	25
3.3	Implementación.....	27
Capítulo cuatro		29
Resultados		29
4.1	Pruebas de tiempo de descarga de batería del nuevo prototipo	29
4.2	Figura de méritos del nuevo prototipo.....	31
4.3	Comparación de figura de méritos del prototipo en relación con su versión anterior	32
4.4	Pruebas de distancia de medición de señal.....	33
Conclusiones		36
Recomendaciones		37
Referencias		38
Apéndice		40

Apéndice A.....	40
Pruebas de tiempo sin peso	40
Apéndice B.....	41
Pruebas de tiempo con 1 Kg.....	41
Apéndice C.....	42
Pruebas de tiempo con 1,5 Kg.....	42
Apéndice D.....	43
Pruebas de tiempo con 2 Kg.....	43
Apéndice E.....	44
Pruebas de tiempo de nuevo prototipo sin peso y con 2200 mAh de batería	44
Apéndice F.....	45
Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con 2 Kg y con 2200 mAh de batería	45
Apéndice G.....	46
Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con batería de 4600 mAh	46

Índice de tablas

Tabla 1 Cálculo de consumo energético de versión sin optimizar de Cinebot	12
Tabla 2 Arquitectura del prototipo mecánico, de software y de circuitos.....	13
Tabla 3 Pruebas de tiempo promedio del prototipo sin optimizar y sin peso	18
Tabla 4 Pruebas de tiempo promedio de duración de la batería del prototipo sin optimizar con 1 Kg	19
Tabla 5 Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo sin optimizar con 1,5 Kg	20
Tabla 6 Pruebas de tiempo promedio de duración de la batería del prototipo sin optimizar con 2 Kg	20
Tabla 7 Figura de méritos de prototipo sin optimizar.....	21
Tabla 8 Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo optimizado con batería de 2200 mAh	30
Tabla 9 Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo optimizado con batería de 4600 mAh	31
Tabla 10 Figura de méritos de prototipo optimizado.....	31
Tabla 11 Comparación de figuras de méritos de prototipo sin optimizar y optimizado	32
Tabla 12 Pruebas de distancia de medición con errores	34
Tabla 13 Pruebas de distancia de medición sin errores.....	35

Índice de figuras

Figura 1 Prototipo sin optimizar ensamblado	13
Figura 2 Servo motor MG 996R para nuevo prototipo	23
Figura 3 Batería de 7,4 V y 4600 mAh para nuevo prototipo	24
Figura 4 Modelado 3D del nuevo prototipo optimizado.....	25
Figura 5 Modelado 3D del nuevo prototipo optimizado con colores.....	26
Figura 6 Prototipo optimizado impreso	27
Figura 7 Comparación de parte interna de los prototipos.....	28
Figura 8 Comparación de tamaño entre ambas versiones del prototipo	28

Resumen

Este trabajo busca la optimización de la eficiencia energética del robot Cinebot mediante la metodología de ingeniería de diseño. Para lo cual se identificó aquellos factores que causaban pérdidas energéticas y se planteó soluciones para mejorar la duración de la batería. Luego, se verificó que los factores que ejercen un mayor consumo energético son los motores, el peso del prototipo y la capacidad de la batería. De esta manera, con el prototipo optimizado, se realizó pruebas de duración de batería que demostraron que el peso del prototipo era el principal causante del desgaste de la batería debido a que forzaba a los motores a usar más energía para moverse, por lo que se seleccionó motores más eficientes, se rediseñó el prototipo y se aumentó la capacidad de las baterías. Estos ajustes permitieron mejorar la eficiencia energética de Cinebot en un 98,81%. En resumen, este trabajo representó una contribución importante al desarrollo de un sistema más eficiente para el laboratorio remoto de la UTPL. Además, esto puede tener un impacto significativo en el ámbito de la investigación y el desarrollo tecnológico.

Palabras clave: Eficiencia energética, optimización, robot.

Abstract

This work aims to optimize the energy efficiency of the Cinebot robot by means of the engineering design methodology. For this purpose, the main factors causing energy losses were identified and solutions were proposed to improve battery consumption. It was then determined that the factors that cause the greatest energy consumption were the motors, the weight of the prototype and the battery capacity. In this manner, with the optimized prototype, battery drain tests were carried out, which showed that the weight of the prototype was the main cause of battery consumption because it forced the motors to use more energy to move. As a result of it, more efficient motors were selected, the prototype was redesigned, and the battery capacity was increased. These adjustments improved Cinebot's energy efficiency by 98.81%. In summary, this work represented an important contribution to the development of a more efficient system for the UTPL remote laboratory. In addition, this may have a significant impact in the field of research and technological development.

Keywords: Energy efficiency, optimization, robot.

Introducción

En el año 2020 la población mundial se vio afectada por la pandemia causada por la COVID-19, una enfermedad infecciosa que afecta principalmente a las vías respiratorias y que en casos graves puede producir neumonía (Castro, 2020). Esta enfermedad obligó a un gran porcentaje de países alrededor del mundo a realizar un confinamiento obligatorio con la finalidad de reducir el número de personas contagiadas y así evitar saturar los centros de salud. Este confinamiento hizo que muchas instituciones educativas tanto públicas y privadas de todo tipo implementen una nueva modalidad de teletrabajo y de estudios en línea.

Esta nueva modalidad trajo consigo tanto ventajas como desventajas en el ámbito académico, puesto que, aunque muchas instituciones ya contaban con infraestructura tecnológica como para proveer a los estudiantes servicios como correo electrónico, página web y soporte técnico. Las instituciones no estaban preparadas para hacer un traslado total de los servicios educativos de la forma tradicional a un modelo virtual que, para algunas instituciones que no impartían una modalidad a distancia, fue completamente nuevo. Esto trajo consecuencias negativas para zonas donde los estudiantes tienen acceso limitado a internet, poniendo en riesgo la posibilidad de educación para los mismos. De la misma manera, los estudiantes necesitaban también disponer de dispositivos capaces de conectarse a la red para poder establecer conexión con las plataformas de estudio que utilizaba su institución (Morales, 2022).

Estos problemas fueron notables para ciertas instituciones que no habían implementado un sistema de enseñanza virtual antes de la pandemia, y para aquellas que si habían impartido clases en esa modalidad fue un poco más fácil adaptarse. Según un estudio reciente realizado por Marinoni, (2020) señala como para el 67% de las Instituciones de Educación Superior (IES) la educación presencial fue sustituida por completo por la nueva modalidad impartida de manera virtual. Agregando a lo anterior, se señala que solo el 2% de las instituciones no sufrieron ninguna afectación en su modalidad de enseñanza debido a que estas ya habían implementado esta modalidad

en el pasado. De la misma manera, también resalto que el 24% de las universidades detuvo la mayoría de las actividades académicas, pero si se centraron en continuar con la enseñanza con una modalidad de autoestudio. Y finalmente, señalo que el 7% de las instituciones tuvieron que suspender las clases debido a que no contaban con los medios necesarios para implementar métodos alternativos a las clases presenciales.

Por otro lado, las consecuencias positivas que llegaron a la educación a partir de la llegada la pandemia fueron tales, que permitieron que de cierta manera se pueda tener un contacto mucho más personal entre maestros y estudiantes a través de foros y plataformas de videoconferencias que hacen que el aprendizaje se sienta como presencial. Además, el uso de las TIC beneficio al trabajo colaborativo que en entornos presenciales se pueden llegar a dificultar por la ubicación de los estudiantes. Estas plataformas sirven de apoyo para los estudiantes, ya que los evalúan periódicamente y se puede definir específicamente cuáles son las áreas en las que presentan dificultad para luego mejorar dichas áreas.

La modalidad virtual sirvió de mucha ayuda como ahorro de recursos y de tiempo porque al no necesitar salir de casa para movilizarse hasta las escuelas y universidades, los estudiantes se ahorran el dinero que usualmente se utiliza para el transporte, alimentación y demás viáticos asociados a la salida de casa hasta las instituciones educativas (Mendoza, 2021). De cierta manera, esto marco un antes y después en la educación, debido a que tiempo después del inicio de la pandemia los estudiantes empezaban a preferir los sistemas académicos en línea que los presenciales, pues estos brindan mayor comodidad a la hora de escoger horarios y asistir a sus clases de manera remota.

Aunque la educación virtual dio paso a que la enseñanza no se vea estancada, ciertos sectores que necesitaban de educación práctica si se vieron afectados. Por ejemplo, estudiantes de medicina, bioquímica o cualquier carrera que requería uso de laboratorios físicos para realizar sus respectivas prácticas presentaron dificultades, ya

que, al ser muy restringidas las salidas por motivo del confinamiento obligatorio, se tuvo que tomar otras medidas y es aquí donde el uso de laboratorios remotos entra en juego.

Los laboratorios remotos son herramientas versátiles para prácticas educativas y profesionales, que permiten manipular instrumentos reales desde cualquier lugar. A diferencia de los laboratorios con simulaciones, los laboratorios remotos permiten captar los efectos de la manipulación real de instrumentos. Su implementación se da debido a que hoy en día es sumamente necesario que el aprendizaje de los estudiantes incluya al uso de tecnologías para que de esta manera los futuros profesionales puedan determinar, afrontar y solucionar aquellos problemas que se les presenten en el futuro (Dominguez, 2020).

Los laboratorios remotos son producto de los avances de las TIC, las cuales contribuyen al desarrollo de procesos educativos que se consideran como sistemas que están basados en acciones realizadas desde otro sitio. Su funcionamiento es relativamente sencillo, pues el usuario del laboratorio remoto “tele - opera” y controla los recursos disponibles mediante un servidor que conecta al usuario con el equipo que se esté manejando en el laboratorio (Rosado, 2002).

Actualmente, en Ecuador existe un gran número de universidades que han adoptado estos laboratorios remotos y brindan a los estudiantes la posibilidad de trabajar con los mismos. Entre estas universidades encontramos a la Universidad Técnica Particular de Loja, Universidad Técnica de Ambato, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Universidad Central del Ecuador, Técnica del Norte, Estatal de Milagro, Técnica de Manabí, entre otras (Zuñiga, 2019).

Aunque existe una amplia variedad de laboratorios remotos aplicados a distintas áreas de la ciencia, nos enfocaremos principalmente en laboratorios remotos aplicados al estudio de la física. En esta situación particular, en un laboratorio remoto creado por un grupo de estudiantes en la ciudad de Loja. Su enfoque ha sido el diseño de una maqueta experimental para cinemática, destinada a la comunidad estudiantil. El

propósito del laboratorio es mejorar las capacidades del laboratorio remoto de la UTPL y, por lo tanto, generar contenido educativo a través de experimentos que se pueden operar de forma remota.

Cinebot, como se denomina, es un sistema mecatrónico que se combina con un sistema de visión por computadora para permitir a estudiantes experimentar con conceptos de cinemática y de movimiento rectilíneo uniforme (MRU) de una partícula mediante el uso de un robot (Tacuri, 2022). Para la creación del prototipo se utilizó la metodología de ingeniería de diseño y se utilizó una figura de méritos para evaluar el esquema de movimiento lineal con rapidez constante. Su efectividad fue de 0.08% a 3.2%, lo que hacía que el funcionamiento del prototipo tenga una precisión muy alta y su aplicación en prácticas educativas hace que el aprendizaje sea mucho más efectivo para los estudiantes.

Los desarrolladores de Cinebot se encargaron de su diseño e implementación, cuyo prototipo resultante fue un éxito en cuanto a funcionamiento y prestaciones que brindaba a los estudiantes, pero el prototipo presentaba algunas falencias en cuanto a rendimiento energético, pues su duración en uso aproximada es de dos horas. Esto de cierta manera significaba un inconveniente para los estudiantes, puesto que cada cierto tiempo el prototipo debía volver a su estación de carga. Es por ello por lo que el presente proyecto de investigación se basa en la eficiencia energética del prototipo.

La eficiencia energética en términos generales se encarga de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar la calidad de funcionamiento de un sistema (Rodríguez, 2020). Se basa en la sustitución de un componente por otro y que con las mismas prestaciones consuma menos energía, esto hace que su funcionamiento siga siendo el mismo, pero con un consumo de energía mucho menor. En el caso de "CINEBOT" se planea aplicar lo mismo, realizar un rediseño y sustitución de componentes que cumplan con las mismas funciones, pero que su consumo energético se vea reducido y de esta manera se prolongue más la vida útil de la batería.

Capítulo uno

Estado del arte

1.1 Problemática

En la Universidad Técnica Particular de Loja, se han implementado herramientas educativas para que los estudiantes puedan reforzar sus conocimientos teóricos mediante la aplicación práctica de los mismos. En el área técnica, se implementó un sistema de laboratorios remotos que sirven para realizar prácticas experimentales sobre cinética. El principal enfoque de estos laboratorios se da para los estudiantes de materias que utilizan temas relacionados con la física y las matemáticas. Los alumnos, aparte de las explicaciones teóricas, recurren mucho a las prácticas para el mejor entendimiento de conceptos que se imparten en las clases.

Uno de estos laboratorios remotos funciona mediante el manejo de un robot denominado Cinebot, este prototipo de laboratorio remoto mostraba ciertos problemas con el consumo de energía, ya que su batería no duraba lo suficiente para que los estudiantes puedan terminar sus prácticas. Esto se pudo evidenciar gracias a la retroalimentación y comentarios de estudiantes que daban uso al prototipo. La batería de este robot no presentaba un buen rendimiento energético en relación con el tiempo que se les brindaba a los estudiantes para hacer sus prácticas, pues tenía un rendimiento aproximado de 2 horas, según Tacuri (2022). Esto ralentizaba las prácticas que se les proponían a los estudiantes debido a que había que recurrir a la estación de carga del robot cada cierto tiempo, lo cual, estancaba a los estudiantes en medio de sus prácticas y existía mucho tiempo muerto de por medio.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Realizar una optimización energética notable aplicada al robot "CINEBOT", que pertenece al compendio de laboratorios remotos de la UTPL.

1.2.2 Objetivos específicos

Análisis del estado actual y determinación de falencias en términos energéticos, y determinación de duración de batería actual.

- Figura de méritos, antes de la optimización.
- Proponer un esquema de optimización.
- Ejecutar el esquema de optimización.
- Realizar pruebas y figura de méritos del prototipo cambiado.
- Comparación de la figura de méritos, antes y después

1.3 Justificación e importancia del trabajo de titulación

Partiendo del objetivo de la UTPL de formar profesionales con pensamiento científico y crítico, potenciado con un sentido práctico mediante el uso de laboratorios remotos, la relación teórica – práctica no se ve afectada y se complementa para que los estudiantes tengan todas las posibilidades educativas y sean profesionales de calidad.

Es por ello por lo que este proyecto busca mejorar las características y optimizar el rendimiento del prototipo, que es parte del laboratorio remoto CINEBOT que sirve de práctica para los estudiantes que cursan temas de cinemática en el área de física – matemática.

1.4 Marco teórico y proyectos relacionados

Muchos de los sistemas y circuitos que se utilizan actualmente hacen uso de la energía eléctrica, la cual se ha convertido en un recurso insustituible para el desarrollo de la humanidad. La energía eléctrica por su parte es una propiedad física que se manifiesta a través de la atracción o rechazo que se ejerce entre las distintas partes de la materia, su origen se encuentra en la presencia de componentes con carga positiva denominados protones y componentes con carga negativa denominados electrones. Es una propiedad física que se asocia con la corriente eléctrica y que en términos generales se puede definir como la capacidad de hacer funcionar las cosas (Barrero, 2004).

Todos los dispositivos electrónicos hacen uso de la energía eléctrica, pues su controlabilidad, versatilidad y limpieza permiten que esta energía pueda ser generada en grandes cantidades de forma concentrada. Sus usos principales se dan para realizar trabajos mecánicos, emitir calor o luz y en términos generales para transformarse en otra energía diferente (Barrero, 2004).

Aunque la energía eléctrica es la más utilizada, su uso no siempre es el óptimo por lo que en muchos sistemas se suele terminar gastando más energía de la que se necesita debido a que mucha energía se convierte en calor y termina convirtiéndose en energía disipada. Es aquí donde la gestión de energía toma importancia y la aplicación de eficiencia energética es clave para que nuestros sistemas funcionen de la mejor manera posible.

1.4.1 Eficiencia energética

Según Schallenberg y Piernavieja (2008), la eficiencia energética implica reducir la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda, sin comprometer la calidad del resultado. Esto se logra mediante la sustitución de procesos o componentes de un sistema para mejorar su rendimiento energético, sin afectar la calidad del resultado. El enfoque en la eficiencia energética es un paso importante en términos ambientales, ya que se maximiza el uso de los recursos y se minimizan las pérdidas.

En la actualidad, la eficiencia energética se ha convertido en una prioridad para la aplicación y uso de recursos en todo el mundo debido a que las fuentes de energía tradicionales tienen carácter limitado y cada vez son más caras y estas generan dependencia del mercado exterior (BBVA, 2022). Esto sin mencionar el impacto ambiental que el empleo de fuentes energéticas produce, por lo cual, muchas empresas y administraciones públicas de muchos países han puesto en marcha algunas medidas para que se haga un mayor uso de energías provenientes de fuentes renovables.

En el presente trabajo se aplicará la optimización de la eficiencia energética a un robot que forma parte del compendio de laboratorios remotos de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), el cual se encuentra en funcionamiento a partir del año 2020.

Para conocer más a fondo sobre este sistema en concreto debemos partir con el concepto de lo que es un laboratorio remoto y como este se relaciona con la eficiencia energética que se va a aplicar.

1.4.2 Laboratorio remoto

Los laboratorios remotos, como su nombre lo indica, son laboratorios que se pueden manejar remotamente a través de un dispositivo como una computadora, teléfono celular o Tablet. Estos laboratorios brindan a los usuarios la capacidad de manipular los instrumentos de un laboratorio convencional desde un dispositivo mediante una interfaz donde sea que el usuario se encuentre.

Además, este tipo de laboratorios presentan mejores prestaciones para los estudiantes, permitiéndoles usar los componentes de un laboratorio convencional de forma global. Los laboratorios remotos se caracterizan porque permiten a los usuarios realizar prácticas de forma remota, permitiendo la transferencia de información en procesos que se realizan en tiempo real con los dispositivos que se encuentran en un laboratorio o un entorno preparado para el laboratorio remoto. Mediante este sistema, los estudiantes que utilizan de este tipo de laboratorios en realidad controlan los recursos e instrumentos de medida cuyas interfaces permiten efectuar cambios directos y en tiempo real mediante software (Shuang, 2011).

Estos laboratorios remotos presentan un sin número de ventajas para las personas que los utilizan para que sean una parte fundamental de la reducción de costos (Heradio et al., 2016); permiten llegar a estudiantes que se encuentran geográficamente dispersos (Ma y Nickerson, 2006); y sobre todo el ahorro de tiempo que conlleva movilizarse desde los domicilios o trabajos hasta los establecimientos donde se encontrarían los laboratorios convencionales en el caso de que no haya laboratorios remotos. En el presente estudio nos enfocaremos en el laboratorio remoto Cinebot, que se encuentra en funcionamiento en las instalaciones de la UTPL.

1.4.3 Cinebot

Existen laboratorios remotos de diversos tipos, aplicados a diferentes ramas de estudio, pero el presente proyecto está enfocado al laboratorio remoto Cinebot, que como indica Tacuri et al (2021) es un laboratorio remoto aplicado a la enseñanza de cinemática en el área de física en la UTPL. El propósito principal es otorgar a los estudiantes la habilidad de realizar experimentos con los instrumentos de un laboratorio desde cualquier ubicación, dado que éste puede ser controlado de forma remota por medio de cualquier dispositivo inteligente que tenga acceso a internet.

El prototipo realizado por Tacuri et al (2021), se diseñó e imprimió en 3D con material PLA (ácido poliláctico), la estructura principal del chasis tiene una forma cilíndrica con paredes de 0,3 cm de espesor, cuyas dimensiones son de 19 cm de diámetro y 12 cm de altura. Los componentes electrónicos utilizados se encuentran albergados dentro de la estructura, haciendo que el peso total del prototipo sea de 1 Kg.

Dentro del prototipo se encuentran algunos componentes que forman parte del sistema electrónico, tales como:

- 2 Motores DC Chihai de 140RPM a 12 V
- 2 llantas modelo N20
- 2 ruedas locas
- 2 soportes para ruedas locas
- 26 tornillos con tuerca
- 1 módulo de carga por inducción
- 1 batería Ovonix de 11,1 V y 3000 mAh
- 1 Arduino Nano
- 1 módulo bluetooth HC05
- 1 (Balanceador) BC4S15D

Los creadores de Cinebot, describen su trabajo como un sistema de control de un robot que emplea visión por computadora para detectar objetos y tomar decisiones. El sistema comprende una cámara web con una lente de enfoque de 84° posicionada a

una altura de 2,4 m, que define una superficie de trabajo de aproximadamente dos metros cuadrados. El algoritmo detecta la posición y orientación del robot respecto a un sistema de referencia espacial y tiene la capacidad de corregir la trayectoria del robot si el error entre la trayectoria propuesta por el usuario y la realizada por el robot supera el 5%.

Además, el robot cuenta con un sistema de ciclo de carga autónomo que lo lleva a una estación de carga cuando la batería alcanza un umbral mínimo. La carga se lleva a cabo mediante un proceso de inducción sin contacto. Mediante un cálculo realizado para determinar el dimensionamiento de la fuente de carga, sumando el consumo energético de los componentes que iban a conformar el prototipo, se pudo estimar que la fuente de alimentación del sistema debía ser de 12 V y con una capacidad superior a los 1500 mAh para satisfacer el nivel de consumo energético de cada uno de los componentes.

En la Tabla 1 podemos observar el cálculo de consumo realizado para determinar la cantidad de energía que requiere cada componente.

Tabla 1

Cálculo de consumo energético de versión sin optimizar de Cinebot

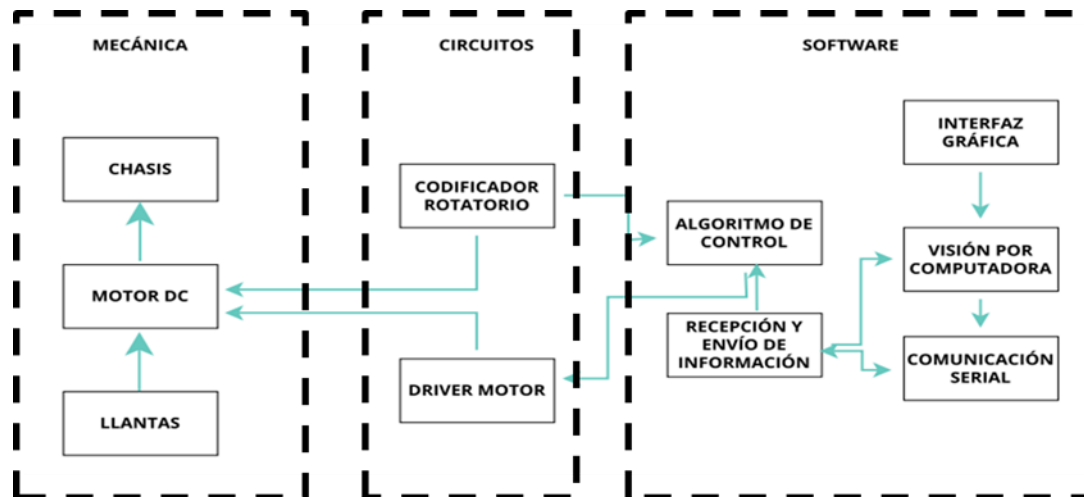
Componente	Voltaje de funcionamiento [V]	Cantidad	Consumo en [mA/h]	Consumo total [mA/h]
Motor DC	12	2	750	1500
Arduino nano	3,3 - 12	1	19	19
Driver L298N	6-12	1	36	36
HC05	5	1	50	50
			Consumo total	1605

Nota: Tomado de: Tacuri (2022, p. 20)

El costo total de la construcción del prototipo de Cinebot ascendió a los 366,83 dólares, su valor incluye el costo de los componentes electrónicos y mecánicos utilizados. En la Figura 1 se puede observar el prototipo ya ensamblado.

Figura 1*Prototipo sin optimizar ensamblado*

El diseño final del sistema consta de tres secciones interconectadas, una (I) mecánica, (II) electrónica y (III) una de programación. Estas funcionan juntas para llevar a cabo el experimento de forma remota. En la Tabla 2 se ilustra la relación entre los procesos y cómo estos se comunican entre sí, ya sea de manera unidireccional o bidireccional.

Tabla 2*Arquitectura del prototipo mecánico, de software y de circuitos*

Nota: Tomado de: Tacuri (2022, p. 11)

La sección mecánica tiene como objetivo garantizar la estabilidad y mover el cuerpo del robot. Para lograr esto, se han colocado dos motores DC en la parte inferior del chasis, acoplados a dos ruedas de plástico y dos ruedas giratorias, conocidas como ruedas libres, encargadas de cambiar la dirección del robot.

En lo que respecta al módulo de control, se utiliza una placa Arduino nano para capturar las señales emitidas por los codificadores rotatorios del módulo electrónico, los cuales están ubicados en cada uno de los motores DC. De este modo, se puede monitorear el desplazamiento de los motores. Además, la placa Arduino nano envía señales al controlador L298N para dirigir el movimiento de los motores en sentido horario o antihorario.

Por otra parte, el módulo de programación se compone de tres elementos esenciales: el algoritmo de control para el movimiento del sistema, el algoritmo para analizar los datos ingresados y un programa denominado cliente, que habilita el control autónomo mediante la interacción con una interfaz gráfica.

Finalmente, en el ámbito energético se determinó el error relativo del censo de nivel de voltaje de la batería mediante una prueba que se basó en la realización de 20 mediciones realizadas con el monitor serial de Arduino y con un multímetro. Esto con la finalidad de conocer la exactitud del sistema para conocer el nivel de carga del prototipo y de esa manera enviarlo a su estación de carga cuando sea necesario.

Conviene subrayar que, con todas estas implementaciones, el prototipo de Cinebot funciona perfectamente para las tareas que en un inicio se planearon que sean realizadas, pues su batería cuenta con una autonomía de 180 minutos (3 horas) según indica Tacuri et al. (2022).

1.4.4 Proyectos relacionados

Anteriormente, ya se han realizado optimizaciones energéticas en distintos campos donde los dispositivos electrónicos adoptaron nuevos sistemas y componentes que hicieron que su uso energético sea más reducido. Tal es el caso de Albrecht et al. (2013) y Rizzi et al. (2004) quienes utilizaron un sistema de VSA (de su acrónimo en inglés, Vehicle Stability Assist) para explorar la eficiencia energética de robots con piernas. Dicho de este modo, se utilizó piernas de rigidez variable en un robot para ajustar la frecuencia natural de la otra pierna y así mejorar su eficiencia energética y velocidad.

De este modo, mejoraron la eficiencia energética de su sistema mediante la implementación de un nuevo sistema que les brinda la posibilidad de optimizar recursos energéticos.

De la misma manera, en los estudios realizados por Huang y Hase (2006) y Collins (2005) se indica que mediante el uso de una nueva técnica de marcha dinámica pasiva usando actuadores puede suponer un método óptimo de planificación de trayectorias que se basa en un método de aproximación de funciones. Esto da como resultado un mejor manejo de energía y una mayor eficiencia energética para su robot bípedo que camina, haciendo que el valor integral cuadrado de torque sea mínimo y use menos energía.

Por otro lado, en un estudio realizado por Gürkan y Turkoglu (2022) afirman que mediante un novedoso modelo predictivo de consumo energético se puede facilitar el desarrollo de tareas que se basan en la eficiencia de consumo energético para sistemas robóticos móviles. Para este modelo, se crea un modelo matemático avanzado del sistema que tiene en cuenta varios parámetros que se utilizan durante el movimiento del robot móvil, especialmente aquellos de inclinación, carga, fricción dinámica, deslizamiento de las ruedas y límite de saturación de velocidad. Además, tienen en cuenta efectos de perturbaciones inesperadas sobre el consumo de energía, dando como resultado que se alcance una tasa de acierto de un 98,56%. Con esta investigación se comprueba que las dinámicas de fricción y cualquier tipo de movimiento tiene efectos significativos en el consumo de energía.

Adicionalmente, en un estudio realizado por Gurgoze y Turkoglu (2022) nos indica cómo se puede establecer un marco general para evaluar la eficiencia energética de los robots móviles considerando la eficiencia de la fuente de energía, los actuadores y la locomoción. Además, se presentan algunas ideas para mejorar la eficiencia de los sistemas robóticos, como los modos de locomoción, las propiedades del material, los tamaños geométricos y los estados de actuación.

En conclusión, diferentes autores han propuesto y utilizado una variedad de sistemas y componentes para optimizar los recursos energéticos. Estos incluyen movimientos diferentes para la articulación de robots, cambio de componentes por aquellos con menor uso energético, manejo adecuado de la energía, entre otros. Estos sistemas y componentes son importantes para reducir el consumo energético y alargar el tiempo de uso de la baterías que se emplean, para contribuir a un futuro más sostenible.

1.4.5 Metodología y arquitectura del sistema

Como se da en muchos tipos de sistemas, por muy buenos que sean siempre hay espacio para mejoras y este prototipo que es parte de un laboratorio remoto no es una excepción. Su uso constante mostró como su funcionamiento no era óptimo a nivel energético, pues los estudiantes que hacían uso de este laboratorio remoto aseguraban que el tiempo de funcionamiento no era suficiente para terminar con las prácticas, debido a que cada cierto tiempo el prototipo tenía que volver a su estación de carga y pausar las prácticas que realizan los estudiantes.

Para cumplir con los objetivos planteados anteriormente se propone utilizar la metodología de Engineering design, de esta forma se puede definir el problema, especificar los requerimientos necesarios y evaluar los mismos para escoger una solución viable que nos permita cumplir los objetivos de la mejor manera. Siguiendo esta línea, se sugiere principalmente cambiar los componentes actuales por aquellos con mejores prestaciones energéticas, además se propone cambiar el diseño actual del prototipo para que el mismo presente un diseño más compacto y ligero para que el uso de energía se vea reducido y el tiempo de uso sea mucho más largo.

Capítulo dos

Análisis energético del prototipo sin optimización

Este capítulo se enfocará en llevar a cabo pruebas con el objetivo de evaluar el nivel actual de eficiencia energética del prototipo en su versión inicial sin aplicar una optimización. Para ello se ha aplicado un proceso en el que se ha evaluado el desempeño energético de las baterías en relación con aquellos factores que influyen en el uso de la energía como el peso del prototipo y los motores que se utilizan.

De esta forma, se realizó pruebas de duración de batería utilizando los motores a una velocidad fija y sin peso para determinar el tiempo que tardaría la batería en drenarse con los motores que tiene actualmente el prototipo. Además, mediante la hipótesis de que a mayor masa del prototipo se requiere mayor energía para realizar un mismo desplazamiento, se plantea un experimento en el que se pone a prueba la duración de la batería del prototipo con diferentes pesos. Para lograr esto, se realizó un drenaje de la fuente de energía portátil del prototipo mediante el movimiento continuo de los motores, es decir, estos se encontraban girando continuamente a una velocidad de 1 m/s hasta que la batería llegue a su capacidad mínima.

Además, este proceso se realizó con diferentes pesos añadidos al prototipo y en cada prueba, se midió el tiempo que tarda el prototipo en drenar la batería en cada carga y se midió el voltaje inicial y final de las baterías. Los datos obtenidos en estas pruebas serán analizados para determinar si existe una correlación entre el peso del prototipo y la cantidad de energía requerida por los motores para realizar los movimientos.

Se espera que estas pruebas proporcionen información valiosa y ayuden a mejorar el diseño y la funcionalidad del prototipo. Si se confirma la hipótesis, se pueden buscar soluciones para mejorar la eficiencia energética del prototipo, lo que puede tener un impacto significativo en su uso y aplicaciones. Una vez obtenidos los datos, se realizará una figura de méritos con dicha información para posteriormente evaluar la eficiencia energética que se puede lograr aplicando una optimización al sistema.

2.1 Pruebas de duración de batería con el robot sin masa añadida

Para la medición de tiempo de estas pruebas, se tomó la hora de inicio del experimento y la hora de finalización para determinar el tiempo de funcionamiento. Por otro lado, para la medición de voltaje se utilizó dos métodos, uno utilizando un balanceador que indicaba el estado actual de las celdas internas de la batería indicando el voltaje total que se tenía disponible y para comprobar que los datos estén medidos con precisión se utilizó también un osciloscopio tipo Rigol DS1102 para medir el voltaje antes y después de realizar las pruebas.

Las primeras pruebas de duración de batería fueron realizadas con la finalidad de conocer el consumo energético de los motores cuando estos no estaban sometidos a la fricción y no tenían masa encima, es decir, se suspendió el robot en el aire y se hizo funcionar los motores para determinar en qué tiempo la batería se descargaba hasta su capacidad mínima recomendada por el fabricante. Para ello se realizaron 10 pruebas donde se tomó el tiempo de duración de la batería con los motores del robot funcionando continuamente.

En la Tabla 3 se puede observar que en promedio la batería se encuentra en las 5 horas y 11 minutos de duración con uso continuo de los motores trabajando a una velocidad media de 1 m/s sin peso añadido. Además, se puede observar el voltaje medido antes y después de las pruebas. En el Apéndice A se puede observar las 10 pruebas realizadas.

Tabla 3

Pruebas de tiempo promedio del prototipo sin optimizar y sin peso

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	11,6 V	11,60 V	5 horas y 11 minutos	10,4 V	10,41 V

2.2 Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 1 Kg de masa

A continuación, presentaremos los resultados obtenidos de las pruebas de duración de la batería del prototipo después de agregar una carga de 1 Kg, la cual incluye sus componentes respectivos. Para este subconjunto de 10 pruebas realizadas se programó el prototipo para que esté girando en torno a su centro de masa, manteniendo una posición fija en relación con su propio eje. Además, se tomó el tiempo que el prototipo requería para descargar la batería hasta su capacidad mínima.

En la Tabla 4 se muestran los resultados promedio de tiempo y de voltaje obtenidos, donde destaca el tiempo de descarga, ya que se puede ver cómo ha disminuido en un 17,05%, es decir, 60 minutos menos en relación con la prueba de duración de batería realizada con el prototipo sin masa añadida. Esto se traduce en que la carga añadida sí influye en la cantidad de energía utilizada por los motores y que además estos motores dejan de funcionar correctamente cuando se añade peso adicional, dicho de esta manera un cambio en los motores del prototipo sería adecuado para que no se vean afectados por pesos adicionales. En el Apéndice B se puede observar las 10 pruebas realizadas de forma más detallada.

Tabla 4

Pruebas de tiempo promedio de duración de la batería del prototipo sin optimizar con 1 Kg

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	11,6 V	11,61 V	4 horas y 19 minutos	10,4 V	10,40 V

2.3 Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 1,5 Kg de masa

En este caso se añadieron 500 gramos más de peso para determinar si estos mostraban algún cambio en el tiempo de descarga de las baterías. En la Tabla 5 se puede observar como si existe un cambio de 11 minutos en el tiempo de descarga equivalente a una reducción del 4,25%.

Esto muestra que, aunque se haya añadido una carga no tan pesada, el peso si es un factor de impacto para el rendimiento de las baterías. En el Apéndice C se puede observar las 10 pruebas realizadas de forma más detallada.

Tabla 5

Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo sin optimizar con 1,5 Kg

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	11,6 V	11,60 V	4 horas y 8 minutos	10,4 V	10,40 V

2.4 Pruebas de duración de batería con el robot en movimiento y 2 Kg de masa

Finalmente, se incorporó una carga adicional de 500 gramos al prototipo, aumentando su masa total a 2 Kg para determinar la duración de la batería cuando se somete a los motores a cargar más peso sobre los mismos.

En la Tabla 6 se puede observar como el prototipo nuevamente se vio afectado en cuando a rendimiento energético. Pues, estas pruebas mostraron como añadiendo este peso adicional su tiempo de funcionamiento se redujo a 4 horas y 1 minuto. Esto significa una reducción de la duración de la batería de un 6,95% que, aunque parezca poco a simple vista, es un valor que se puede mejorar.

En el Apéndice D se puede observar las 10 pruebas realizadas de forma más detallada.

Tabla 6

Pruebas de tiempo promedio de duración de la batería del prototipo sin optimizar con 2 Kg

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	11,6 V	11,60 V	4 horas y 1 minutos	10,4 V	10,40 V

Los resultados obtenidos en las pruebas indican que, al añadir masa al prototipo, su tiempo de funcionamiento se reduce gradualmente en aproximadamente un 2,29%

cada 500 g. Esto se debe a que el prototipo utiliza más energía para mantener su estabilidad y movimiento, lo que a su vez afecta su rendimiento energético.

Estos factores son importantes, ya que indican que la estructura del prototipo debe ser revisado para mejorar su rendimiento energético y que es necesario reducir el peso del prototipo y utilizar componentes eficientes para garantizar un funcionamiento óptimo.

2.5 Figura de méritos del prototipo sin optimizar

La evaluación de prototipos implica comparar cuidadosamente con otros existentes, utilizando un conjunto de criterios de mérito para una evaluación objetiva y completa. La selección cuidadosa y la ponderación adecuada de estos factores son esenciales para una evaluación justa y completa de un nuevo prototipo.

De esta manera, en la Tabla 7 se muestra la figura de méritos obtenida del prototipo actual, dicha figura contiene factores en cuanto a tiempo de funcionamiento del prototipo y de su batería, además de datos sobre el peso y tamaño.

Tabla 7

Figura de méritos de prototipo sin optimizar

PROTOTIPO DE CINEBOT	
Masa del prototipo	1,1 kg
Tamaño del prototipo	19 cm de diámetro y 6 cm de altura
Voltaje de funcionamiento	11,1 V
Capacidad de batería	2200 mAh
Masa de la batería	180 g
Duración promedio de batería	4 horas y 19 minutos
Tipo de motores	Motores DC: CHR-GM25-370ABHL
Velocidad	Regulable

Capítulo tres

Diseño del nuevo prototipo optimizado

Este capítulo presenta la propuesta de diseño de un nuevo prototipo que busca mejorar tanto el peso como los componentes utilizados, debido a que las pruebas realizadas con el prototipo anterior han demostrado que estos factores son las principales causas del drenaje de la batería.

Este nuevo diseño se plantea con el objetivo principal de que tenga un consumo energético reducido, lo que ayudará a prolongar su tiempo de duración de la batería y de esta forma sea más eficiente para su uso en aplicaciones prácticas, que, en este caso, son remotas debido a que este prototipo será parte de un laboratorio remoto.

El diseño del robot se basa en el uso de componentes y materiales que hacen que el prototipo sea más eficiente energéticamente. Se han utilizado motores y actuadores con una mayor eficiencia energética y un nuevo chasis que hace que la estructura sea más compacta y ligera.

En resumen, el diseño de este nuevo prototipo de robot se ha realizado con el objetivo de mejorar su eficiencia energética. Con la utilización de componentes y tecnologías más eficientes y se espera que el robot tenga un consumo de energía reducido.

3.1 Componentes a utilizar

3.1.1 Motores

La premisa central detrás de este proceso de optimización energética surge de la hipótesis de que la disminución del peso y las dimensiones del prototipo, así como la implementación de motores de alta precisión que demanden menor consumo energético, pueden traducirse en una reducción del consumo energético global del sistema.

Para este propósito se seleccionó el servomotor MG 996R por sus características sobresalientes en relación con su calidad-precio, incluyendo su alto rendimiento y eficiencia energética. Con una tasa de respuesta rápida y precisa debido

a su programación angular, es decir, en la programación se puede indicar los grados en los que queremos que se ubique el motor, por ejemplo, si se le pide que se mueva 360° el motor dará una vuelta completa hasta llegar a ese ángulo. Este servomotor es capaz de realizar posicionamientos angulares con una precisión del 99,86% en períodos de tiempo que pueden ser asignados desde su programación.

El MG 996R se destaca por ser una opción energéticamente eficiente, dado que emplea una cantidad mínima de energía de 4,8 V para alcanzar un alto desempeño. Esta característica lo posiciona como una elección óptima para la aplicación en cuestión, permitiendo una gestión eficiente y sostenible del consumo de energía a largo plazo. Además, el servomotor es capaz de soportar cargas pesadas de hasta 9,4 Kg y ofrece una alta precisión en la transmisión de potencia, lo que lo convierte en una opción confiable y eficiente en términos energéticos. En la Figura 2 se puede observar el servo motor a utilizar.

Figura 2

Servo motor MG 996R para nuevo prototipo



Nota: Adaptado de: Servo MG996R 13KG 180 grados – Novatronic. (s. f.).

<https://n9.cl/ijhkd>

La implementación de estos servomotores permite reducir el tamaño de las baterías con respecto a la versión previa de Cinebot, la cual requería una batería de 11,1 V para aprovechar plenamente la capacidad de los motores DC empleados. En cambio, para los servomotores MG 996R se requiere de baterías con un voltaje máximo

de 7,4 V. Esta diferencia de voltaje permite reducir el número de celdas necesarias para la alimentación del sistema, lo cual se traduce en una disminución del tamaño de las baterías sin comprometer su eficacia.

3.1.2 Batería

Luego de llevar a cabo el análisis correspondiente, se ha determinado la conveniencia de emplear baterías de menor voltaje y tamaño en el robot, en contraposición al uso previo de una batería de 12 V. En este sentido, se ha optado por utilizar una batería de 7,4 V debido a que ésta posee una mayor capacidad nominal de 4600 miliamperios en comparación con la versión anterior. Como consecuencia de ello, se ha logrado prolongar el tiempo de descarga de la batería, permitiendo una utilización extendida sin la necesidad de recargarla con regularidad. De esta manera, se ha conseguido mejorar significativamente la capacidad de la batería del robot. A continuación, en la Figura 3 se muestra la batería de 7,4 V que se va a utilizar.

Figura 3

Batería de 7,4 V y 4600 mAh para nuevo prototipo



Nota: Adaptado de: Amazon.com: AWANFI 2S Shorty Lipo 7.4 V 4600 mAh (s. f.).

<https://n9.cl/qo9n3>

3.2 Modelado 3D

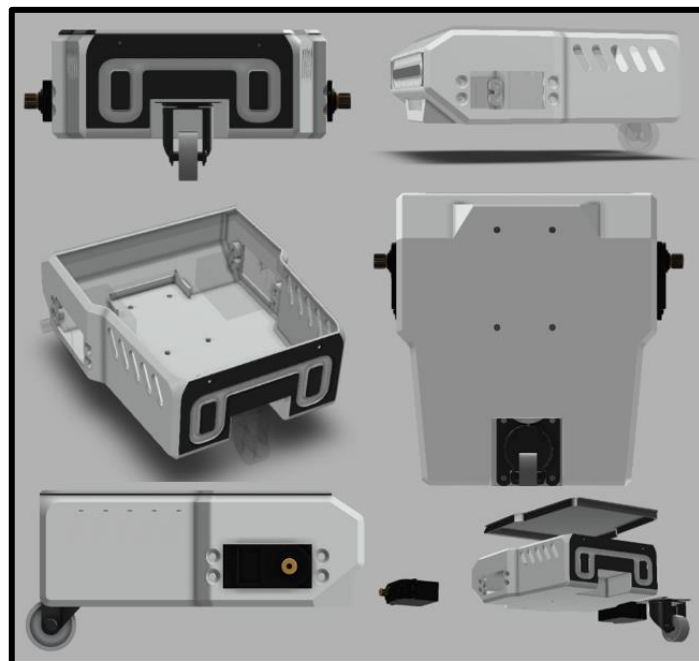
Durante el proceso de diseño del nuevo prototipo, se tomó en cuenta los componentes que se iban a utilizar en el robot, garantizando de esta manera una óptima integración y funcionamiento de los mismos.

El diseño del nuevo robot se pensó con la intención de que este sea más compacto que la versión anterior sin optimizar, lo que permitió una mayor eficiencia en términos de espacio y una mayor portabilidad debido a que su masa se redujo, proporcionando al prototipo una forma más compacta y liviana que la versión anterior, pues se pudo evidenciar como un mayor peso del robot significaba un mayor uso de la energía por parte de los motores para realizar sus movimientos.

A continuación, se presentan capturas tomadas de la aplicación utilizada para modelar el prototipo en 3D. Estas imágenes muestran el diseño final del prototipo antes de ser impreso. En la Figura 4 se puede ver la cara frontal del nuevo prototipo, la cual se diseñó para darle un aspecto amigable y que los estudiantes que vayan a trabajar con el robot sepan reconocerlo fácilmente.

Figura 4

Modelado 3D del nuevo prototipo optimizado

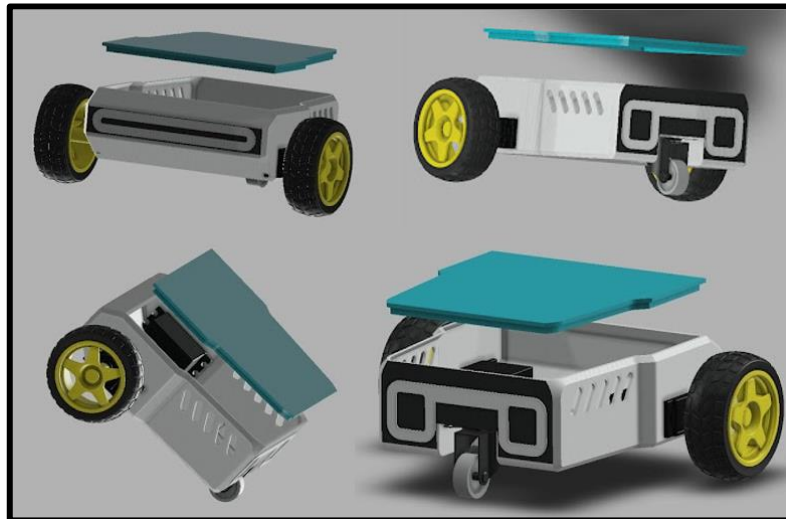


Además, mediante la simulación del prototipo se logró una vista previa de las características y movimientos del robot, lo que permitió que se pueda comprobar que el diseño es óptimo antes de su fabricación física. Esto aseguró una construcción sin errores y una optimización en el rendimiento del robot.

De la misma manera, para que el prototipo sea más llamativo se le añadió partes que sean de color para que este sea más reconocible por los estudiantes que puedan llegar a utilizarlo. En la Figura 5 se muestra el prototipo modelado en 3D con los colores elegidos para su posterior impresión.

Figura 5

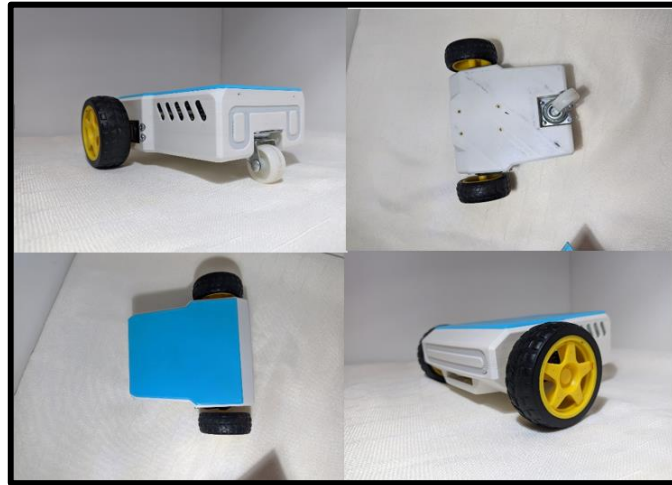
Modelado 3D del nuevo prototipo optimizado con colores



Una vez se realizó el modelo y se adecuó los espacios necesarios para los componentes que se ubicaran dentro del nuevo prototipo, se procedió con la impresión en 3D que tardó 6 horas en total, dando como resultado el nuevo prototipo que se muestra a continuación en la Figura 6.

Figura 6

Prototipo optimizado impreso



3.3 Implementación

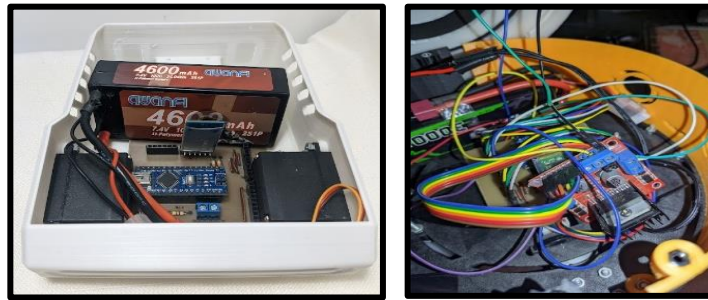
Luego de la impresión del prototipo, se llevó a cabo la integración de los componentes dentro del chasis. Para ello, se requirió de una cuidadosa planificación de la ubicación de cada uno de los elementos, basándose en la simulación 3D previa. Esta tarea resultó ágil debido a la previsión de los espacios necesarios para cada componente.

Es importante destacar que se ha llevado a cabo una adecuada fijación de los componentes del robot con el fin de prevenir cualquier tipo de movimiento que pudiera impactar negativamente en el desempeño de los motores. Esta medida se ha tomado como resultado de una evaluación del prototipo anterior, que evidenció deficiencias en la organización de los componentes y que se tradujeron en desplazamientos involuntarios de los mismos, ocasionando interferencias en las trayectorias de los motores como se vio en el estudio de Tacuri (2022).

La correcta fijación de los componentes es una tarea fundamental en el proceso de construcción de un sistema robótico, ya que permite garantizar una operación estable y confiable del mismo. A continuación, se muestra en la Figura 7 como quedó la parte interna del prototipo actualizado. Se puede ver como existe una gran mejora en términos de orden y de diseño si lo comparamos con su versión anterior.

Figura 7

Comparación de parte interna de los prototipos



a)

b)

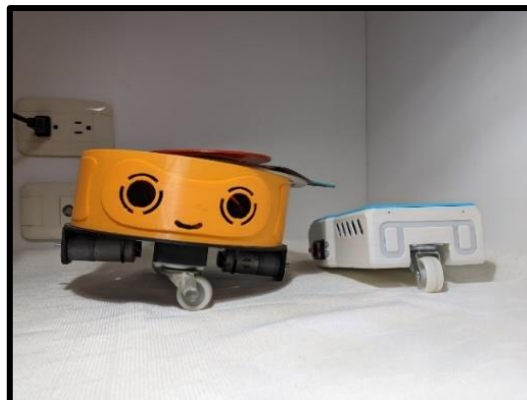
Nota. a) Parte interna del prototipo optimizado. b) Parte interna del prototipo sin optimizar

Para el control del prototipo se realiza utilizando un microcontrolador Arduino Nano, al igual que en la versión previa, y se emplea el módulo Bluetooth HC-05 para establecer comunicación con los dispositivos encargados de su manipulación. Una vez finalizada la implementación física, se ha podido constatar una mejora significativa en cuanto al tamaño y peso del prototipo. Concretamente, se ha reducido la masa de 1 Kg a 600 g, lo que ha permitido reducir su diámetro a 13 cm y su altura a 5 cm.

Como resultado de estas mejoras, los motores del prototipo pueden funcionar con mayor eficacia, debido a que llevan encima un peso que se encuentra por debajo del peso máximo soportado. En la Figura 8 se puede observar una comparación entre el chasis del prototipo en su versión anterior y su nueva versión más optimizada.

Figura 8

Comparación de tamaño entre ambas versiones del prototipo



Capítulo cuatro

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de duración de la batería realizadas con el prototipo rediseñado, desarrollado para mejorar el rendimiento y la eficiencia energética del prototipo del laboratorio remoto.

Para lograr esta optimización, se construyó un nuevo diseño con cambios específicos y se planteó la ejecución de tres esquemas de trabajo con el fin de medir el tiempo de funcionamiento y otros factores. El propósito de este capítulo es comprobar si el nuevo diseño tuvo efecto en la optimización de la eficiencia energética, tal como se esperaba. Además, se realizaron pruebas de medición para determinar en qué distancias es recomendable enviar una señal de posicionamiento mediante bluetooth al robot para conocer su posición.

A continuación, se detallarán los objetivos de las pruebas, la metodología utilizada, así como los resultados obtenidos y su relevancia para el desarrollo de futuros proyectos y tecnologías.

4.1 Pruebas de tiempo de descarga de batería del nuevo prototipo

Se llevaron a cabo pruebas para evaluar si se logró una optimización energética en los motores del prototipo. Para ello, se emplearon baterías de igual capacidad para medir el tiempo de descarga en ambas versiones y se procedió a realizar pruebas de duración de la batería, tal como se hizo con la versión no optimizada, con el fin de determinar si la sustitución de los motores implicó una mejora significativa.

De tal manera, se realizó un drenaje de la fuente de energía portátil del prototipo mediante el movimiento continuo de los motores, es decir, estos se encontraban girando continuamente a una velocidad de 1 m/s hasta que la batería llegue a su capacidad mínima. Además, estas pruebas también se realizaron con 2 pesos diferentes, una en la que el prototipo no estaba sometido a la fricción y no tenía masa encima, es decir,

que sus ruedas giraban en el aire y otra prueba con 2 kg de masa para determinar si en este caso el peso también tiene relación con la dependencia de energía.

Los resultados mostrados en la Tabla 8 señalan que la versión con servomotores MG 996R logró un tiempo de descarga de 4 horas y 28 minutos. Con este resultado, se presume que hubo una optimización energética en términos de uso de energía de los motores, lo que se puede verificar en la tabla de resultados en el Apéndice E.

Además, cabe señalar que también se realizó pruebas con el prototipo funcionando con 2 Kg de peso adicionales y los resultados señalaron que no hubo reducción de tiempo de duración con este cambio de peso, lo que denota que estos nuevos motores no se vieron afectados por este peso adicional dado que tienen una mayor fuerza que los motores usados en la versión anterior de Cinebot. De manera más detallada se puede ver sus resultados en el Apéndice F.

Tabla 8

Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo optimizado con batería de 2200 mAh

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	7,6 V	7,60 V	4 horas y 28 minutos	6,4 V	6,40 V

A pesar de que una mejora de 10 minutos en el tiempo de descarga puede parecer insignificante a simple vista, es importante tener en cuenta que esta mejora se logró incluso cuando el prototipo se sometió a cargas más pesadas, lo que indica que la optimización energética de los motores es significativa.

Esto podría tener implicaciones importantes en términos de ahorro de energía y reducción de costos a largo plazo, puesto que, si en un futuro se llegara a necesitar agregar más componentes como sensores o cámaras en el prototipo, este no se vería afectado en términos de eficiencia de los motores para llevar esas cargas adicionales. Además, es fundamental considerar que, en el ámbito de la ingeniería, incluso pequeñas

mejoras en el rendimiento pueden tener un gran impacto en la eficiencia y la competitividad.

Por otro lado, en la Tabla 9 se pueden observar los resultados obtenidos utilizando la batería de 4600 mAh que se especificó para que el tiempo de uso sea mucho mayor, se puede ver como existe una mejora considerable en términos de rendimiento energético, ya que se puede utilizar el prototipo alrededor de 8 horas y 44 minutos. De igual manera, en el Apéndice G se puede ver una tabla con los datos más detallados.

Tabla 9

Pruebas de tiempo promedio de duración de batería del prototipo optimizado con batería de 4600 mAh

Número de pruebas	Voltaje inicial en balanceador	Voltaje inicial en osciloscopio	Tiempo promedio de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
10	7,6 V	7,60 V	8 horas y 44 minutos	7,4 V	7,40 V

4.2 Figura de méritos del nuevo prototipo

A continuación, en la Tabla 10, se muestra la figura de méritos obtenida del nuevo prototipo, dicha figura contiene factores en cuanto a tiempo de funcionamiento del prototipo, peso y tamaño.

Tabla 10

Figura de méritos de prototipo optimizado

PROTOTIPO ACTUALIZADO	
Masa del prototipo	600 g
Tamaño del prototipo	13 cm de ancho, 13 cm de largo y 5 cm de altura
Voltaje de funcionamiento	7,4 V
Capacidad de batería	4600 mAh
Masa de la batería	210 g
Duración promedio de batería	8 horas y 44 minutos
Tipo de motores	Servos motores: MG 996R
Velocidad	Regulable

4.3 Comparación de figura de méritos del prototipo en relación con su versión anterior

En la Tabla 11 se muestra una comparativa entre la figura de méritos del prototipo anterior con su versión actualizada.

Tabla 11

Comparación de figuras de méritos de prototipo sin optimizar y optimizado

	Prototipo anterior	Prototipo actualizado
Masa	1,1 kg	600 g
Tamaño del prototipo	19 x 19 cm de diámetro	13 x 13 cm de diámetro
Voltaje de las baterías	11,1 V	7,4 V
Capacidad de baterías	2200 mAh	4600 mAh
Duración promedio de baterías	4 horas y 19 minutos	8 horas y 44 minutos
Tipo de motores	Motores DC: CHR-GM25-370ABHL	Servos motores: MG 996R
Velocidad	Regulable	Regulable

Una vez efectuado el análisis de los datos, se ha constatado una marcada mejoría en los puntos destacados en verde, donde la versión optimizada más reciente del prototipo ha superado a la versión anterior. En particular, se ha evidenciado una notable eficiencia con relación al peso, reduciéndose desde 1,1 kg a 600 g, y también en cuanto al tamaño, disminuyendo de un diámetro de 19 cm a un sistema más compacto de 13 x 13 cm. Este logro se alcanzó tras un análisis que permitió mejorar la disposición de los componentes dentro del chasis del prototipo, optimizando significativamente tanto el orden como el espacio.

Asimismo, se ha constatado el cambio de la batería utilizada en la versión anterior, que pasó de una batería de 11,1 V a una de 7,4 V, gracias al uso de servomotores que requieren un menor voltaje para su funcionamiento. Este cambio ha permitido una mejoría en la capacidad de la batería sin necesidad de incrementar el peso del prototipo, dado que la batería de 11,1 V tenía una capacidad de 2200 mAh y pesaba 100 g menos que la batería de 4600 mAh usada en esta nueva versión.

En términos generales, se ha logrado una optimización eficiente del prototipo, estableciendo mejoras que resultan altamente prometedoras para su uso en el futuro.

4.4 Pruebas de distancia de medición de señal

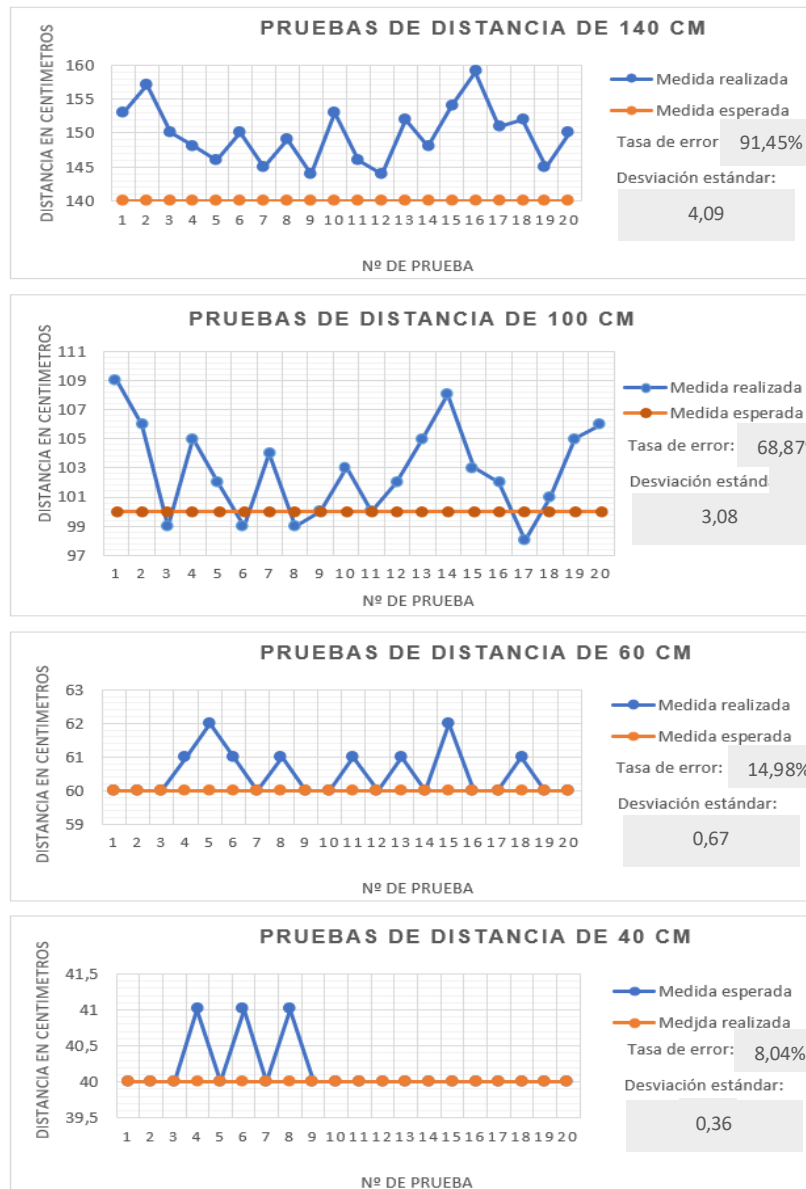
Con el objetivo de determinar en qué distancia es necesario realizar una lectura de posición mediante bluetooth y mejorar la transferencia de información desde el microcontrolador del prototipo a la computadora, se han realizado pruebas de distancia para determinar el rango recomendado de transmisión por Bluetooth que permita ubicar el prototipo y medir su posición con mayor exactitud. Este enfoque puede contribuir de manera significativa a mejorar la eficiencia energética y optimizar el procesamiento de datos.

En versiones anteriores, se enviaba una señal por Bluetooth cada milisegundo, lo cual podía resultar excesivo en términos de manejo de datos y posiblemente no estaba optimizado adecuadamente. Esto puede mejorarse gracias a la implementación de los servomotores utilizados en este nuevo rediseño, ya que son mucho más precisos que los motores DC utilizados anteriormente.

En la Tabla 12, se muestran los resultados de las pruebas de distancia realizadas con el prototipo, en la que se puede observar que existe una relación entre la distancia y el margen de error de las mediciones.

Tabla 12

Pruebas de distancia de medición con errores



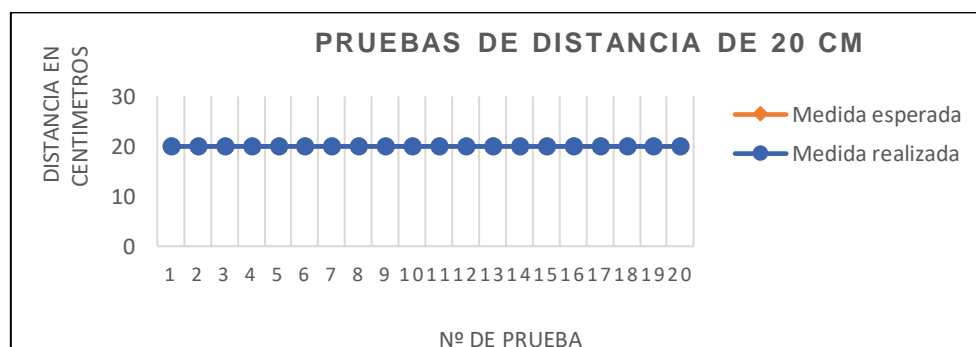
A medida que aumenta la distancia entre el objeto y el prototipo, hay incrementos en la variabilidad de las mediciones, lo que se refleja en un aumento en el margen de error. Por ejemplo, en las pruebas de 140 cm, se registró una tasa de error del 91,45%, obtenida mediante el cálculo obtenido con los datos de desviación estándar y el número de pruebas realizadas. Este porcentaje calculado, indica un nivel de errores muy elevado. En cambio, en las pruebas realizadas a una distancia de 100 cm, se obtuvo una tasa de error del 68,87%, lo que sugiere una mejora en la precisión de las mediciones. Asimismo, en las pruebas realizadas a distancias menores, como 60 cm y

40 cm, se observó una disminución en la tasa de error, registrándose valores de 14,98% y 8,04%, respectivamente. De este modo, se puede concluir que a distancias más cortas se logran mediciones más precisas y confiables, lo que sugiere la necesidad de considerar las condiciones de medición en función de la distancia en la que se realizarán las mediciones.

Por otro lado, en la Tabla 13 se encuentran registrados los resultados obtenidos en las pruebas correspondientes a una distancia de 20 cm. Se evidencia que en dichas pruebas se logró alcanzar una tasa de error muy cercana a cero, lo que sugiere que las mediciones fueron precisas y acertadas en este caso particular. De esta manera, estos resultados demuestran que, a distancias cortas, se puede obtener una mayor exactitud en las mediciones, en comparación con medidas de mayor envergadura, lo cual es relevante para el diseño y desarrollo de sistemas de medición de alta precisión.

Tabla 13

Pruebas de distancia de medición sin errores



Estos resultados demuestran la importancia de considerar la distancia al momento de realizar mediciones, ya que a mayores distancias se debe tener en cuenta un mayor margen de error en las mediciones obtenidas.

Además, esto también tendrá un impacto en la energía que se utiliza en el prototipo para determinar su posición, ya que, se podría enviar una señal mediante bluetooth cada 20 cm para determinar la posición del prototipo en lugar de enviar esta señal cada milisegundo como se realizaba en la versión anterior.

Conclusiones

La optimización de la eficiencia energética del prototipo Cinebot ha permitido mejorar significativamente su rendimiento y funcionalidad en un 98,81%, al doblar el tiempo de funcionamiento del sistema mediante el cambio de los tres principales factores que ejercen mayor consumo energético: los motores, el peso del prototipo y la capacidad de la batería.

Se planteó la hipótesis de que la mejora en cada uno de estos aspectos tendría un impacto significativo en el rendimiento del prototipo, y aunque el aumento de capacidad de la batería tuvo el mayor impacto, los cambios en los motores y la reducción de peso también contribuyeron a una mayor optimización.

La aplicación de técnicas de análisis y modelado ha sido importante en la optimización del prototipo Cinebot, puesto que ha permitido identificar las áreas que requerían mejoras y definir las soluciones más adecuadas para lograr la eficiencia energética deseada.

Se comprobó la hipótesis planteada y se corroboró que con la reducción de la masa del prototipo se mejoró significativamente la eficiencia energética y permitió una mayor portabilidad. De igual manera, el empleo de servomotores ha sido fundamental en el proceso de optimización, ya que estos componentes permiten un mayor control y precisión en los movimientos del prototipo, al mismo tiempo que consumen menos energía. La implementación de mejoras en el diseño del prototipo y la selección de componentes más eficientes han permitido reducir el uso de energía, lo que puede traducirse en una reducción de costos y una mayor sostenibilidad en el uso del prototipo.

En conclusión, se logró una mejora significativa en el rendimiento energético del prototipo gracias a la combinación de estos cambios, lo que indica que la optimización de múltiples aspectos del diseño es una estrategia efectiva para lograr una mayor eficiencia energética. Además, estos resultados demuestran la importancia de seguir explorando nuevas formas de mejorar la eficiencia energética en la tecnología y fomentar el desarrollo de soluciones sostenibles en el futuro.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se hacen las siguientes recomendaciones técnicas:

Para mejorar la eficiencia y la confiabilidad del sistema, si el prototipo tiene una precisión confiable de hasta 20 centímetros, se recomienda reducir la frecuencia de las señales y enviarlas con un tiempo de espera de 1 segundo. De esta manera, se reduce la cantidad de datos que se necesitan enviar y procesar, se disminuye la carga de trabajo en el sistema y se reduce el consumo de energía. Sin embargo, la frecuencia de las señales que se envían depende de las necesidades específicas del proyecto, y es importante evaluar cuidadosamente las limitaciones y requisitos del prototipo antes de tomar una decisión definitiva.

Al utilizar el prototipo en un entorno diferente al laboratorio, se recomienda realizar pruebas de posicionamiento nuevamente debido a que la fricción con la superficie es un factor importante que puede afectar la precisión de las mediciones. La variación en la fricción puede ser significativa entre diferentes superficies, lo que puede requerir ajustes en el sistema para lograr mediciones precisas. Otros factores ambientales, como la interferencia electromagnética y las variaciones en la temperatura y la humedad, también pueden afectar la precisión del prototipo en diferentes entornos, por lo que realizar pruebas en el entorno real es crucial para identificar y abordar estos problemas.

Dado que el prototipo se usará en un laboratorio remoto, se recomienda contar con al menos dos unidades disponibles para satisfacer la demanda de uso y evitar retrasos en las operaciones. La disponibilidad de una unidad de respaldo también puede minimizar el tiempo de inactividad y garantizar una operación más eficiente. Tener dos unidades disponibles en el sitio también puede ahorrar tiempo y costos asociados con el envío de una unidad de reemplazo, especialmente en ubicaciones remotas. En conclusión, tener al menos dos unidades del prototipo en el laboratorio remoto puede mejorar la eficiencia, confiabilidad y reducir costos.

Referencias

- Albrecht, A. R., Howlett, P. G., Pudney, P. J., & Vu, X. (2013). Energy-efficient train control: From local convexity to global optimization and uniqueness. *Automatica*, 49(10), 3072-3078.
- Barrero, F. (2004). *Sistemas de energia electrica*. Madrid.
- BBVA. (14 de Noviembre de 2022). Obtenido de ¿Que es la eficiencia energetica y como se calcula?: <https://www.scribbr.es/citar/generador/folders/OQ5IF0vk6TP8QysRm37RL/lists/7Snzj3k5qwq7nACySXJub/>
- Board, E. (25 de Enero de 2022). *¿Qué es un servomotor? ¿Cómo funciona?*. Obtenido de Electronic Board: <https://www.electronicboard.es/que-es-un-servomotor-como-funciona/>
- Castro, R. (2020). Coronavirus, una historia en desarrollo. *Revista médica de Chile*, 148(2), 143-144.
- Collins, H. (2005). A bipedal Walking robot with efficient and human-like gait,. *Robotics and Automation*.
- Dominguez, M. J. (2020). *Estrategias docentes colaborativas basadas en la utilización de laboratorios remotos vía Internet*.
- G. Gürkan, I. T. (2022). A novel energy consumption model for autonomous mobile robot. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Volume 30, Issue 1, Pages 216 - 232.
- Galvis, Y. (03 de 10 de 2012). *Servomotores*. Obtenido de Prezi: https://prezi.com/mllip2e-pj_2/servomotores/
- Gürgöze, G., & Türkoğlu, İ. (2022). A Novel, Energy-Efficient Smart Speed Adaptation Based on the Gini Coefficient in Autonomous Mobile Robots. *Electronics*, 11(19), 2982.
- GÜRKAN GÜRGÖZE, İ. T. (2022). A novel energy consumption model for autonomous mobile robot. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*.
- H. Vu, H. H. (2013). A variable stiffness mechanism for improving energy efficiency of a planar single-legged hopping robot. *6th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, pp. 1-7.
- Heradio, R., De La Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, 98, 14-38.
- Huang, Q., & Hase, T. (2006). Energy-Efficient Trajectory Planning for Biped Walking Robot. *International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 648-653.
- Ma, Jing J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. 7.
- Laboratorios virtuales en el proceso enseñanza-aprendizaje en Ecuador. (2019). *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, Edición especial.

- Marinoni, H. V. (2020). The Impact of COVID-19 on Higher Education Around the World IAU Global Survey Report. *International Association of Universities*. Obtenido de International Association of Universities.
- Mendoza, K. R. (2021). Conclusiones educativas a un año de la Covid-19: ventajas y desventajas de la Educación Remota de Emergencia. *Revista Boliviana de Educación*, 114-127.
- Morales, M. (12 de 03 de 2022). *Saas Rank*. Obtenido de SaasRank.es: <https://saasrank.es/ventajas-y-desventajas-de-la-educacion-en-linea/>
- Rizzi, J. W. (s.f.). Physically Variable Compliance in Running. *Climbing and Walking Robots*, pp 123–133.
- Rodriguez, J. S. (23 de Abril de 2020). *Energías renovables y eficiencia energética*. Obtenido de <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1459>
- Rosado, L. H. (2002). Laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física y materias afines. *Didáctica de la Física y sus nuevas Tendencias, Madrid, UNED*, 415-603.
- Ruben Heradio, L. d.-V. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, Pages 14-38.
- Schallenberg Rodríguez, J. C. ((2008)). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Shuang, H. (2011). Internet-based Control Systems. *Advances in Industrial Control*.
- Stephen Moore, P. S. (2001). A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems. *Society of Automotive Engineers*.
- Tacuri, A. V. (2022). CINEBOT: More than just a robot, a laboratory. *Revista internacional de tecnología, ciencia y sociedad*.
- Zhen, S., Huang, J., & Qian, K. (2018). A Performance Comparison of Two Deep Neural Networks for Route Prediction in a Fully Autonomous Car. In 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 261-266). IEEE.
- Zuñiga, A. J. (2019). Laboratorios virtuales en el proceso enseñanza-aprendizaje en Ecuador. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, Edición Especial.

Apéndice

Apéndice A.

Pruebas de tiempo sin peso

Tabla A1

Pruebas de tiempo sin peso

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en Balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	11,6 V	11,59 V	5:15 H	10,4 V	10,39 V
2	11,6 V	11,60 V	5:09 H	10,4 V	10,40 V
3	11,6 V	11,60 V	5:10 H	10,4 V	10,41 V
4	11,6 V	11,61 V	5:15 H	10,4 V	10,40 V
5	11,6 V	11,60 V	5:15 H	10,4 V	10,41 V
6	11,6 V	11,59 V	5:12 H	10,3 V	10,41 V
7	11,6 V	11,61 V	5:12 H	10,4 V	10,40 V
8	11,6 V	11,60 V	5:02 H	10,4 V	10,42 V
9	11,6 V	11,60 V	5:07 H	10,4 V	10,40 V
10	11,5 V	11,61 V	5:09 H	10,4 V	10,39 V
Promedio:	11,6 V	11,60 V	5:11 H	10,4 V	10,41 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo sin optimizar y sin peso alguno.

Apéndice B.

Pruebas de tiempo con 1 Kg

Tabla A2

Pruebas de tiempo con 1 Kg

Número de prueba	Voltaje en Balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en Balanceador	Voltaje Final en osciloscopio
1	11,6 V	11,61 V	4:15 H	10,3 V	10,38 V
2	11,6 V	11,62 V	4:21 H	10,3 V	10,40 V
3	11,6 V	11,62 V	4:15 H	10,4 V	10,41 V
4	11,6 V	11,61 V	4:13 H	10,4 V	10,40 V
5	11,6 V	11,60 V	4:13 H	10,4 V	10,39 V
6	11,6 V	11,61 V	4:18 H	10,4 V	10,39 V
7	11,6 V	11,60 V	4:15 H	10,4 V	10,40 V
8	11,6 V	11,61 V	4:16 H	10,4 V	10,41 V
9	11,6 V	11,60 V	4:15 H	10,4 V	10,41 V
10	11,6 V	11,62 V	4:18 H	10,4 V	10,39 V
Promedio	11,6 V	11,61 V	4:19 H	10,4 V	10,39 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo sin optimizar y con 1 Kg de peso.

Apéndice C.

Pruebas de tiempo con 1,5 Kg

Tabla A3

Pruebas de tiempo con 1,5 Kg

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	11,6 V	11,59 V	4:05 H	10,4 V	10,41
2	11,6 V	11,60 V	4:05 H	10,4 V	10,40
3	11,6 V	11,60 V	4:07 H	10,4 V	10,38
4	11,6 V	11,60 V	4:09 H	10,4 V	10,41
5	11,6 V	11,61 V	4:05 H	10,4 V	10,39
6	11,6 V	11,59 V	4:09 H	10,4 V	10,40
7	11,6 V	11,61 V	4:11 H	10,4 V	10,41
8	11,6 V	11,61 V	4:07 H	10,4 V	10,41
9	11,6 V	11,60 V	4:10 H	10,4 V	10,39
10	11,6 V	11,59 V	4:11 H	10,4 V	10,41
Promedio:	11,6 V	11,60 V	4:08 H	10,4 V	10,40

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo sin optimizar y con 1,5 Kg de peso.

Apéndice D.

Pruebas de tiempo con 2 Kg

Tabla A4

Pruebas de tiempo con 2 Kg

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	11,6 V	11,59 V	3:59 H	10,4 V	10,39 V
2	11,6 V	11,58 V	4:04 H	10,4 V	10,40 V
3	11,6 V	11,60 V	3:56 H	10,4 V	10,40 V
4	11,6 V	11,61 V	3:58 H	10,4 V	10,41 V
5	11,6 V	11,61 V	4:03 H	10,4 V	10,41 V
6	11,6 V	11,61 V	4:05 H	10,4 V	10,38 V
7	11,6 V	11,60 V	4:02H	10,4 V	10,39 V
8	11,6 V	11,61 V	4:00 H	10,4 V	10,40 V
9	11,6 V	11,59 V	4:04 H	10,4 V	10,40 V
10	11,6 V	11,60 V	3:57 H	10,4 V	10,41 V
Promedio:	11,6 V	11,60 V	4:01 H	10,4 V	10,40 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo sin optimizar y con 2 Kg de peso.

Apéndice E.

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo sin peso y con 2200 mAh de batería

Tabla A5

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo sin peso y con 2200 mAh de batería

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	7,6 V	7,59 V	4:28 H	6,4 V	6,39 V
2	7,6 V	7,58 V	4:27 H	6,4 V	6,41 V
3	7,6 V	7,60 V	4:29 H	6,4 V	6,40 V
4	7,6 V	7,61 V	4:30 H	6,4 V	6,41 V
5	7,6 V	7,61 V	4:26 H	6,4 V	6,41 V
6	7,6 V	7,61 V	4:27 H	6,4 V	6,38 V
7	7,6 V	7,60 V	4:27 H	6,4 V	6,40 V
8	7,6 V	7,61 V	4:30 H	6,4 V	6,40 V
9	7,6 V	7,59 V	4:29 H	6,4 V	6,40 V
10	7,6 V	7,60 V	4:27 H	6,4 V	6,41 V
Promedio:	7,6 V	7,60 V	4:28 H	6,4 V	6,40 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo optimizado sin peso.

Apéndice F.

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con 2 Kg y con 2200 mAh de batería

Tabla A6

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con 2 Kg y con 2200 mAh de batería

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	7,6 V	7,59 V	4:27 H	6,4 V	6,39 V
2	7,6 V	7,58 V	4:28 H	6,4 V	6,41 V
3	7,6 V	7,60 V	4:29 H	6,4 V	6,40 V
4	7,6 V	7,61 V	4:28 H	6,4 V	6,41 V
5	7,6 V	7,61 V	4:27 H	6,4 V	6,41 V
6	7,6 V	7,61 V	4:29 H	6,4 V	6,38 V
7	7,6 V	7,60 V	4:28 H	6,4 V	6,40 V
8	7,6 V	7,61 V	4:30 H	6,4 V	6,40 V
9	7,6 V	7,59 V	4:29 H	6,4 V	6,40 V
10	7,6 V	7,60 V	4:28 H	6,4 V	6,41 V
Promedio:	7,6 V	7,60 V	4:29 H	6,4 V	6,40 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo optimizado con 2 Kg de peso.

Apéndice G.

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con batería de 4600 mAh

Tabla A7

Pruebas de tiempo de nuevo prototipo con batería de 4600 mAh

Número de prueba	Voltaje en balanceador	Voltaje en osciloscopio	Tiempo de descarga	Voltaje Final en balanceador	Voltaje final en osciloscopio
1	7,6 V	7,59 V	8:44 H	6,4 V	6,39 V
2	7,6 V	7,58 V	8:44 H	6,4 V	6,41 V
3	7,6 V	7,60 V	8:42 H	6,4 V	6,40 V
4	7,6 V	7,61 V	8:41 H	6,4 V	6,41 V
5	7,6 V	7,61 V	8:43 H	6,4 V	6,41 V
6	7,6 V	7,61 V	8:40 H	6,4 V	6,38 V
7	7,6 V	7,60 V	8:42 H	6,4 V	6,40 V
8	7,6 V	7,61 V	8:45 H	6,4 V	6,40 V
9	7,6 V	7,59 V	8:43 H	6,4 V	6,40 V
10	7,6 V	7,60 V	8:41 H	6,4 V	6,41 V
Promedio:	7,6 V	7,60 V	8:44 H	6,4 V	6,40 V

Nota. En esta tabla se observa las pruebas de tiempo realizadas con el prototipo optimizado y con su batería de 4600 mAh.