

Información General			
Facultad: Ciencias naturales e ingenierías			
Programa académico: Ingeniería electromecánica		Grupo(s) de investigación: DIMAT	
Nombre del semillero-SIIMA		Fecha creación: 2026	
		Campus: Bucaramanga	
Líneas de Investigación: Diseño, modelamiento, simulación e implementación de estructuras, máquinas y equipos electromecánicos, termo-fluidos y de aplicación con nuevas formas de energía utilizados en el sector productivo.			
Áreas del saber *			
	1. Agronomía veterinaria y afines		5. Ciencias sociales y humanas
	2. Bellas artes		6. Economía, administración, contaduría y afines
	3. Ciencias de la educación		7. Matemáticas y ciencias naturales
	4. Ciencias de la salud	X	8. Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines

Al diligenciar este documento autorizo a UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, ubicada en Calle de los estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas y con teléfono de contacto 6076917700, para que recolecte, almacene, use, circule y/o suprima mis datos personales. Lo anterior para dar cumplimiento a las finalidades incorporadas en la Política de Tratamiento de Información disponible en www.uts.edu.co, la cual declaro conocer y saber que en esta se especifican cuáles datos son sensibles. Así mismo, conozco que como titular me asisten los derechos a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mis datos y revocar la autorización. Igualmente declaro que poseo autorización, de los otros titulares de datos que suministro, para que UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER les dé tratamiento conforme a las finalidades consignadas en la Política.

Información del Director del Proyecto

Nombre: Diana Carolina Dulcey		No. de identificación:	
Nivel de formación académica (Pregrado / Postgrado / Link de CvLAC):			Asesor
		X	Líder de Semillero de Investigación
Correo electrónico:			

Información de los autores

Nombre	No. Identificación	Correo electrónico
Diego Fernando Rodríguez León	1097780007	dfrodriguezleon@uts.edu.co
Karen Lorena Guerra	1005346101	klguerra@uts.edu.co

Proyecto

1. Título del proyecto:	MODALIDAD DEL PROYECTO **				
	PA	PI	TI	RE	Otra. ¿Cuál?

Adaptación cinemático-cinética de una bicicleta plegable para competencia eléctrica	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Fecha creación del proyecto:</td> <td>5/06/2025</td> </tr> </table>						Fecha creación del proyecto:				5/06/2025
Fecha creación del proyecto:				5/06/2025							
<p>2. Resumen del trabajo:</p> <p>El presente trabajo se enfoca en la transformación de una bicicleta plegable convencional en un vehículo eléctrico optimizado para competencias técnicas, manteniendo su portabilidad y mejorando notablemente su rendimiento. La intervención técnica se basó en rediseñar la distribución de los componentes, especialmente el sistema de baterías, para mejorar la estabilidad, eficiencia energética y comportamiento dinámico. Esta transformación se justificó por la necesidad de adaptar estos vehículos a contextos urbanos y académicos donde la movilidad eficiente, sostenible y compacta es cada vez más demandada.</p> <p>El rediseño se centró en instalar un motor eléctrico brushless de 350W acoplado a la rueda trasera, una batería de plomo-ácido de 12V, un sistema de control con acelerador manual y un medidor de variables eléctricas en tiempo real. El motor proporciona velocidades de hasta 32 km/h en planos rectos y mantiene buen desempeño en pendientes moderadas. Para validar el sistema, se realizaron pruebas reales en diferentes tipos de terreno (recto e inclinado), complementadas con simulaciones estructurales y dinámicas en software CAD (SolidWorks).</p> <p>Durante la fase experimental, se evaluaron el consumo energético, la autonomía y el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones. En una prueba de ruta de 2,1 km, se registró un consumo de 19,5 Wh, lo que equivale a 9,28 Wh/km, y una autonomía estimada de más de 60 km con una sola carga, aumentando hasta 72 km con asistencia de pedaleo. El sistema de medición permitió monitorear voltaje, corriente y energía consumida, validando los cálculos teóricos con datos reales.</p> <p>Desde el punto de vista estructural, se rediseñaron los soportes de batería y otros componentes clave para garantizar la rigidez del sistema sin comprometer la capacidad de plegado. El análisis de elementos finitos (FEA) confirmó que las piezas trabajan dentro de márgenes seguros, incluso bajo carga dinámica. Además, se estudió el centro de masa para asegurar la estabilidad del conjunto, crucial para trayectos urbanos irregulares.</p> <p>El sistema de transmisión utilizó una cadena tradicional combinada con el empuje eléctrico del motor, logrando una buena sinergia entre esfuerzo humano y asistencia eléctrica. La bicicleta mantuvo su funcionalidad básica, pero incrementó significativamente su capacidad de respuesta en condiciones exigentes. El diseño final logró conservar la cinemática del sistema pese al plegado, permitiendo su uso práctico y sin afectar el desempeño.</p> <p>Finalmente, se concluyó que la modificación mejora la maniobrabilidad, extiende la autonomía, reduce el consumo energético y cumple con los requisitos técnicos de competencia. Además, este desarrollo promueve una movilidad urbana sostenible, al tiempo que aporta una solución innovadora adaptable a diferentes contextos. El proyecto demuestra que es posible convertir bicicletas convencionales en vehículos eléctricos competitivos mediante un rediseño estratégico fundamentado en análisis estructurales, simulaciones cinemáticas y pruebas de campo.</p>											
<p>3. Objetivo general y objetivos específicos:</p> <p>3.1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Optimizar el sistema estructural y dinámico de una bicicleta plegable mediante el diseño y la implementación de adaptaciones específicas, como el cambio y reubicación del sistema de batería, aplicando análisis cinemático y estructural, modelado y simulación en entorno CAD. El propósito es mejorar su desempeño funcional y estabilidad, cumpliendo con los requerimientos técnicos de una competencia, y promoviendo su uso eficiente en entornos urbanos y académicos como alternativa de movilidad sostenible en las Unidades Tecnológicas de Santander.</p>											

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Analizar** la dinámica estructural y de comportamiento de la bicicleta plegable existente, identificando las principales limitaciones en cuanto a estabilidad, rigidez y desempeño bajo condiciones de uso intensivo, aplicando principios de cinemática y cinética de cuerpos rígidos.
- **Diseñar y modelar en SolidWorks** las adaptaciones estructurales y dinámicas de la bicicleta plegable, enfocándose en la reubicación del sistema de batería y las modificaciones necesarias para optimizar la rigidez, resistencia y estabilidad del conjunto, utilizando herramientas avanzadas de diseño CAD 3D.
- **Simular el comportamiento dinámico y estructural** del nuevo diseño en SolidWorks Simulation, validando su respuesta ante diferentes condiciones operativas, mediante análisis cinemáticos, estructurales y de elementos finitos (FEA) para garantizar la mejora en el desempeño y la autonomía del sistema.

4. Análisis de resultados:

Para el desarrollo de este trabajo de grado se abordó la mejora estructural y funcional de la bicicleta eléctrica, con el fin de optimizar su eficiencia energética, resistencia mecánica y autonomía. A partir del modelo original existente, se identificaron diversas limitaciones técnicas, lo que motivó una fase de rediseño fundamentada en herramientas CAD y simulación estructural.

4.1. Proceso de rediseño del modelo CAD

El trabajo continuó con la evaluación del modelo original de la bicicleta eléctrica. Este diseño inicial presentaba una disposición simétrica de componentes internos acoplados a una llanta de dimensiones estándar, también se detectaron problemas de distribución de cargas, aumento de peso no justificado y posibles puntos de fallo estructural bajo condiciones reales de operación.

Para abordar estas deficiencias, se desarrolló un nuevo diseño utilizando el software SolidWorks, aplicando criterios de optimización estructural. En esta etapa se reconfiguraron los anclajes de las baterías, se rediseñaron los brazos de soporte interno para distribuir mejor las cargas, y se implementaron mejoras geométricas en las superficies de contacto. Además, se consideró el uso de materiales livianos como aleaciones de aluminio para reducir el peso total sin comprometer la resistencia.

La propuesta rediseñada mantuvo la funcionalidad de generación eléctrica, pero con una disposición más eficiente de sus elementos internos, lo cual favorece el equilibrio dinámico del sistema durante el rodamiento

4.2. Método de medición

Este instrumento de medición se utilizará para medir variables cinemáticas específicamente en las ruedas de una bicicleta plegable para competencia eléctrica, en particular las RPM (revoluciones por minuto). Esta medida es esencial para determinar la velocidad lineal de la patineta, lo que influye directamente en su desempeño, autonomía y control de estabilidad durante el desplazamiento.

La velocidad de una bicicleta plegable para competencia eléctrica depende de las revoluciones por minuto de los motores que impulsan las ruedas y del diámetro de las mismas. Esta relación permite calcular la velocidad final del vehículo y optimizar los parámetros de conducción según las necesidades del usuario o las condiciones del terreno.

Para utilizar este equipo, solo debe adherir un trozo de cinta reflectante (incluida en el producto) al eje de la rueda o al rotor del motor y apuntar con el láser del medidor hacia la cinta. Al encender la patineta, cada vuelta completa reflejará el láser, registrando una revolución. De esta forma, se obtiene una medición precisa y en tiempo real de la velocidad de giro, lo que facilita el análisis y ajuste del sistema eléctrico.

Tacómetro digital UNI-T UT373

Es un instrumento portátil que permite sin contacto confiable que se utiliza para medir la velocidad de rotación de motores y otras máquinas medir la velocidad de rotación en motores y otros equipos mecánicos. Presenta los resultados en RPM (revoluciones por minuto) o como número total de revoluciones (Figura 1). Este dispositivo destaca por su capacidad para realizar mediciones seguras mediante un método no intrusivo, ideal para monitorear objetos en movimiento rotatorio. (UNI-T, 2024).

Figura 1: TACOMETRO DIGITAL MINI UT373, (UNI-T, 2024)



Características generales: (UNI-T, 2024)

- Medición de RPM
- Medida de conteo
- Frecuencia de actualización
- Tipo de sensor: Fotodiodo y tubo láser
- Distancia del blanco: 50 mm ~ 200 mm
- Rango automático
- Medición de RPM y conteo de revoluciones
- Max/Min, retención de datos
- Indicador de disparador único/encendido del láser
- Indicador de batería baja/apagado automático

Multímetro digital UNI-T U33c+

El multímetro es una herramienta esencial para medir y diagnosticar variables eléctricas en circuitos y equipos electrónicos. Con este dispositivo es posible medir voltaje, corriente, resistencia y, en algunos casos, capacitancia,

frecuencia o temperatura. Su diseño portátil y fácil de usar lo convierte en un instrumento indispensable para técnicos, ya que permite realizar pruebas precisas y rápidas. Los resultados se muestran en una pantalla digital o analógica, lo que facilita la interpretación de los datos durante el análisis de fallas o comprobaciones de funcionamiento. (UNI-T, 2024).

Figura 2: Multímetro digital UNI-T U33c+



Características generales

- Voltaje DC: Rangos de 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V y 600 V con una precisión de $\pm(0.5\% + 2)$.
- Voltaje AC: Rangos de 200 V y 600 V con una precisión de $\pm(1.2\% + 3)$.
- Corriente DC: Rangos de 2000 μ A, 20 mA, 200 mA y 10 A con una precisión de $\pm(1\% + 2)$.
- Resistencia: Rangos de 200 Ω , 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω y 20 M Ω con una precisión de $\pm(0.8\% + 2)$.
- Temperatura: Rango de -40°C a 1000°C (-40°F a 1832°F) con una precisión de $\pm(1\% + 4)$ para °C y $\pm(1.5\% + 5)$ para °F.
- Características adicionales:
 - Pantalla LCD: Cuenta con 2000 cuentas para una visualización precisa.
 - Diseño robusto: Incluye una cubierta protectora cómoda con ranura para colgar cables de prueba y soporta caídas de hasta 2 metros.
 - Funciones de seguridad y comodidad:
 - Apagado automático para conservar la batería.
 - Indicador de batería baja.
 - Función de retención de datos (Data Hold).
 - Pruebas de diodos y continuidad con zumbador audible.
 - Alimentación: Funciona con dos baterías de 1.5V (R03)

5. Metodología

1. Evaluación actual

Estado actual de la bicicleta eléctrica plegable

La bicicleta eléctrica plegable se encuentra equipada con un sistema de propulsión compuesto por un motor brushless de 350W a 48V, el cual proporciona una asistencia eficiente y silenciosa, adecuada para desplazamientos urbanos y recorridos de media distancia. El motor está integrado en el buje trasero, ofreciendo una buena distribución del peso y una respuesta directa al pedaleo o acelerador.

El sistema de control está conformado por un controlador electrónico que gestiona la entrega de potencia al motor según las señales del usuario y las condiciones de funcionamiento. Este controlador está debidamente conectado a una pantalla multifunción ubicada en el manillar, la cual permite visualizar información clave como velocidad, nivel de carga de batería, nivel de asistencia, distancia recorrida y posibles códigos de error del sistema.

La bicicleta incorpora una batería de litio de 48V, montada de forma segura en el cuadro, con sistema de extracción para facilitar su carga y reemplazo. Esta batería ofrece una buena relación entre autonomía, peso y vida útil, permitiendo recorridos de entre 30 y 50 km por carga, dependiendo del nivel de asistencia, peso del usuario y condiciones del terreno.

Actualmente, todos los componentes principales (motor, batería, controlador y pantalla) se encuentran operativos y en buen estado de funcionamiento. La bicicleta mantiene su capacidad de plegado, conservando así su portabilidad y facilidad de almacenamiento. No se registran fallas eléctricas ni mecánicas relevantes, aunque se recomienda una inspección periódica del sistema eléctrico y del estado de la batería para asegurar un rendimiento óptimo.

Figura 3: Bicicleta plegable



Fuente: Autores

El medidor H56CH 100V es un coulombímetro utilizado para monitorear el estado de una batería en tiempo real, mostrando valores como voltaje, corriente, capacidad (Ah), energía consumida (Wh), porcentaje de carga y tiempo de uso. Su conexión se realiza mediante un shunt externo entre el polo negativo de la batería y la carga, permitiendo medir con precisión el flujo de energía hacia o desde la batería. Es comúnmente utilizado en bicicletas eléctricas, sistemas solares y aplicaciones de movilidad eléctrica.

Figura 4: Medidor de autonomía



Fuente: autores

El acelerador de medio giro para mano derecha en una bicicleta eléctrica permite controlar la velocidad del motor mediante la rotación parcial del puño, utilizando un sensor de efecto Hall que envía una señal de voltaje variable (1V a 4.2V) al controlador según el grado de giro. Se conecta con tres cables: uno de alimentación (+5V), uno de tierra (GND) y uno de señal, que transmite la información de aceleración al controlador del motor. Este tipo de acelerador se instala en el manillar derecho y es común en sistemas de movilidad eléctrica por su facilidad de uso y control preciso.

Figura 5: Acelerador



Fuente: Autores

La bisagra de plegado adaptada al marco de la bicicleta eléctrica permite transformar el sistema en una bicicleta plegable, facilitando su transporte y almacenamiento en espacios reducidos. Esta bisagra fue instalada estratégicamente en el tubo principal del cuadro, garantizando una unión firme cuando la bicicleta está desplegada, sin afectar la seguridad ni el rendimiento estructural durante la conducción. Su diseño y ubicación fueron seleccionados para mantener el equilibrio entre funcionalidad, resistencia mecánica y practicidad.

Figura 6: Bisagra (plegado)



Fuente: Autores

La base de las baterías fue adaptada en un material de acero al carbón por su alta resistencia mecánica y durabilidad, permitiendo un soporte firme y seguro para la batería de plomo-ácido instalada en la bicicleta eléctrica. Su diseño fue adaptado al marco para mantener la estabilidad del sistema, soportar las vibraciones durante el desplazamiento y proteger el cajón que recubre las baterías frente a posibles impactos, garantizando así un montaje confiable y funcional.

Figura 7: Base de baterías



Fuente: Autores

La transmisión de la bicicleta eléctrica utiliza un sistema de cadena convencional que conecta los pedales con la catalina, la cual está acoplada directamente al motor de 350W ubicado en la rueda trasera. Esta configuración permite combinar el pedaleo manual con la asistencia eléctrica, transmitiendo de forma eficiente la potencia del motor hacia la rueda motriz. El uso de cadena asegura una transferencia de torque robusta y confiable, adaptándose tanto al esfuerzo del ciclista como al empuje del sistema eléctrico.

Figura 8: Transmisión

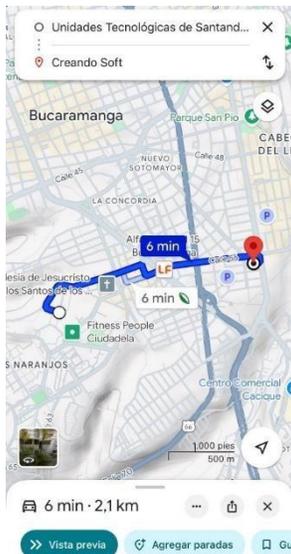


Fuente: Autores

2. Estimación de consumo energético (usando kWh/100km)

La prueba de ruta que se muestra en la **Figura 8**, consistió en realizar un recorrido en la bicicleta eléctrica registrando la distancia, tiempo y velocidad con ayuda de la aplicación móvil Relieve y tomando las mediciones de energía al inicio y al final del recorrido, mostradas en la **Tabla** , con el objetivo de calcular el rendimiento y la autonomía.

Figura 9. Imagen google maps ruta prueba



Nota. Ruta realizada en terreno con pendiente de 20 m. Fuente: Google Maps.

Tabla 2: Mediciones de la ruta

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo	0,1	h
Distancia	2,1	Km
Velocidad máxima	28	Km/h
Energía gastada en el recorrido	19,5	Wh

Nota. Mediciones durante la ruta. Fuente: Autores

Cálculo de rendimiento y autonomía en la ruta

Tabla 3: Datos nominales de la bicicleta

Datos Nominales

Potencia Motor	35 0 W
Tensión Batería	50 V
Capacidad	12, 5 Ah
Tamaño rueda	26"

Nota. Datos nominales de los componentes eléctricos de la bicicleta. Fuente: Autores

Cálculo de la energía total a plena carga de las baterías de plomo

$E = \text{capacidad de la batería} * \text{Tensión nominal de la batería}$
 $E = \text{capacidad de la batería} * \text{Tensión nominal de la batería}$

$$E = 12,5 \text{ Ah} * 50 \text{ V} = 12,5 \text{ Ah} * 50 \text{ V}$$

$$E = 625 \text{ Wh} = 625 \text{ Wh}$$

Rendimiento: Es el equivalente de la cantidad de energía que gasta la batería por Km recorrido.

$R = \frac{\text{Energía usada de la batería}}{\text{Distancia del recorrido}}$
 $R = \frac{\text{Energía usada de la batería}}{\text{Distancia del recorrido}}$

$$R = \frac{19,52,1 \text{ Wh}}{\text{Km}} = 19,52,1 \text{ Wh/Km}$$

$$R = \frac{9,28 \text{ Wh}}{\text{Km}} = 9,28 \text{ Wh/Km}$$

La tarifa de energía eléctrica en Colombia actualmente está en \$934 el KWh, por lo cual es preciso calcular el costo de la energía eléctrica en pesos por cada Kilómetro de recorrido:

$\text{Costo} = \frac{\text{Rendimiento WhKm} * \text{Tarifa } \$/\text{KWh} * 1000}{1000} \text{ } \$/\text{Km}$
 $\text{Costo} = \frac{\text{Rendimiento WhKm} * \text{Tarifa } \$/\text{KWh} * 1000}{1000} \text{ } \$/\text{Km}$

$$C = \frac{19,5 * 934 * 1000}{1000} \text{ } \$/\text{Km} = 19,5 * 934 * 1000 \text{ } \$/\text{Km}$$

$$C = 18,213 \text{ } \$/\text{Km} = 18,213 \text{ } \$/\text{Km}$$

Gasto de electricidad: Corresponde al costo calculado anteriormente por los kilómetros de recorrido:

$$G = \text{Costo } \$/\text{Km} * \text{Distancia Km} = \text{Costo } \$/\text{Km} * \text{Distancia Km}$$

$$G=18,213*2,1G=18,213*2,1$$

$$G=\$ 38,2473G=\$ 38,2473$$

Autonomía Teórica: Es la razón de la energía de las baterías y el rendimiento

$$At= 625 \text{ Wh}9,28 \text{ Wh/Km}At= 625 \text{ Wh}9,28 \text{ Wh/Km}$$

$$At=67,34 \text{ Km}At=67,34 \text{ Km}$$

Autonomía real: Corresponde a la autonomía teórica en un 90 %, debido que no es posible extraer toda la energía de la batería, es así que el controlador envía la señal de aviso al panel DCL antes de descargarse al 100 % la batería.

$$Ar=At*0,9 \text{ Km}Ar=At*0,9 \text{ Km}$$

$$Ar=67,34*0,9 \text{ Km}Ar=67,34*0,9 \text{ Km}$$

$$Ar=60,606 \text{ Km}Ar=60,606 \text{ Km}$$

Autonomía asistida: El pedaleo asistido aporta un 20% más a la autonomía real de la bicicleta

$$Aa=Ar*1,2 \text{ Km}Aa=Ar*1,2 \text{ Km}$$

$$Aa=60,606*1.2Aa=60,606*1.2$$

$$Aa=72,7272 \text{ Km}Aa=72,7272 \text{ Km}$$

Cabe destacar que la autonomía y el desempeño de la bicicleta están influenciados por varios factores, como la inclinación del terreno y el tipo de conducción

3. Diseño y adaptación física

Figura 10: Adaptación de baterías



Fuente: Autores

Figura 11: Adaptación de conexionado



Fuente: Autores

4. Pruebas en circuito

En el siguiente video se presentan las pruebas de funcionalidad de la bicicleta eléctrica, realizadas en dos tipos de terreno: un plano recto y una rampa con inclinación. En el tramo recto de 50 metros, la bicicleta logró alcanzar una velocidad máxima de 32 km/h. Posteriormente, se realizó la prueba en un plano inclinado, donde se alcanzó una velocidad de 28 km/h. Cabe destacar que, para enfrentar la pendiente con mayor eficacia, se tomó impulso desde una distancia previa a la rampa, lo cual permitió ganar aceleración y así disponer de mayor potencia y velocidad al momento de ascender.

Figura 12: lugar de prueba



Fuente: Autores

Video: <https://youtu.be/Lvp2okkaWKc>

5. Estabilidad y seguridad

1. Comprobación de altura del centro de masa

$$x_{cm} = \frac{\sum(x_i \cdot m_i)}{\sum m_i}, \quad y_{cm} = \frac{\sum(y_i \cdot m_i)}{\sum m_i}$$

Centro de masa aproximado:

70,5 (x)

36,8 (y)

Tabla 4: Lista de partes principales

Nº	Componente	Masa (kg)	Coordenadas (x, y) en cm
1	Marco principal (acero)	12.0	(60, 40)
2	Rueda delantera (con llanta)	3.0	(20, 20)
3	Rueda trasera (con motor)	5.0	(100, 20)
4	Motor brushless (integrado)	2.5	(100, 20)
5	Baterías plomo-ácido (x4)	16.0	(85, 35)
6	Sillín + tija	1.5	(70, 60)
7	Manillar + horquilla delantera	2.0	(20, 90)
8	Controlador + cableado	1.0	(80, 35)
9	Bielas + pedales + eje pedalier	1.0	(60, 30)
10	Marco principal (acero)	12.0	(60, 40)
11	Rueda delantera (con llanta)	3.0	(20, 20)
12	Rueda trasera (con motor)	5.0	(100, 20)

Fuente: Autores

6. Resultados

1. Justificación técnica

1. Transmisión del movimiento y velocidad angular

El motor brushless de 350W transmite un par motor directamente a la rueda trasera, generando una velocidad angular constante acorde al voltaje y régimen del motor. La relación entre velocidad angular del motor y la velocidad lineal de la bicicleta se expresa como:

$$v = \omega * r$$

Donde:

- v = velocidad lineal de la bicicleta
- ω = velocidad angular de la rueda
- r = radio de la rueda trasera

Gracias a esta relación, se puede ajustar el tamaño de la rueda y la relación de transmisión (si existiera una caja de cambios o engranaje intermedio) para maximizar velocidad o par según el tramo del circuito.

2. Aceleración y control del desplazamiento

El controlador regula la aceleración angular del motor, permitiendo un arranque progresivo y seguro. Este control se traduce cinemáticamente en una aceleración tangencial:

$$a_t = \alpha \cdot r$$

Donde:

- a_t = aceleración tangencial del vehículo
- α = aceleración angular de la rueda
- r = radio de la rueda

La capacidad de controlar esta aceleración contribuye a una conducción estable, especialmente en tramos urbanos o con obstáculos, tal como los del reto RELIEVE.

3. Diseño plegable sin comprometer cinemática

El sistema de plegado no interfiere con la cadena cinemática principal (motor-controlador-rueda), conservando la alineación de ejes y la geometría funcional. Esto asegura que el comportamiento cinemático (trayectorias, ángulos, velocidad de desplazamiento) se mantenga constante, incluso después de múltiples ciclos de plegado.

4. Optimización del pedaleo asistido (modo PAS)

La cinemática del sistema de asistencia al pedaleo también entra en juego: sensores de cadencia detectan el movimiento angular de los pedales (ω_{pedal}) y activan el motor para complementar la fuerza del ciclista. Esta sinergia permite mantener trayectorias suaves y constantes, reduciendo la fatiga del usuario y optimizando la eficiencia mecánica en función del perfil del recorrido.

5. Compatibilidad con simulación cinemática

El diseño actual puede ser representado y evaluado mediante simulación cinemática en software CAD o MATLAB/Simulink, permitiendo analizar:

- Trayectorias del centro de masas
- Influencia de la geometría del cuadro en la estabilidad
- Cambios de dirección y comportamiento en curvas

- Interacción entre pedaleo y tracción motorizada

2. Modelado CAD completo

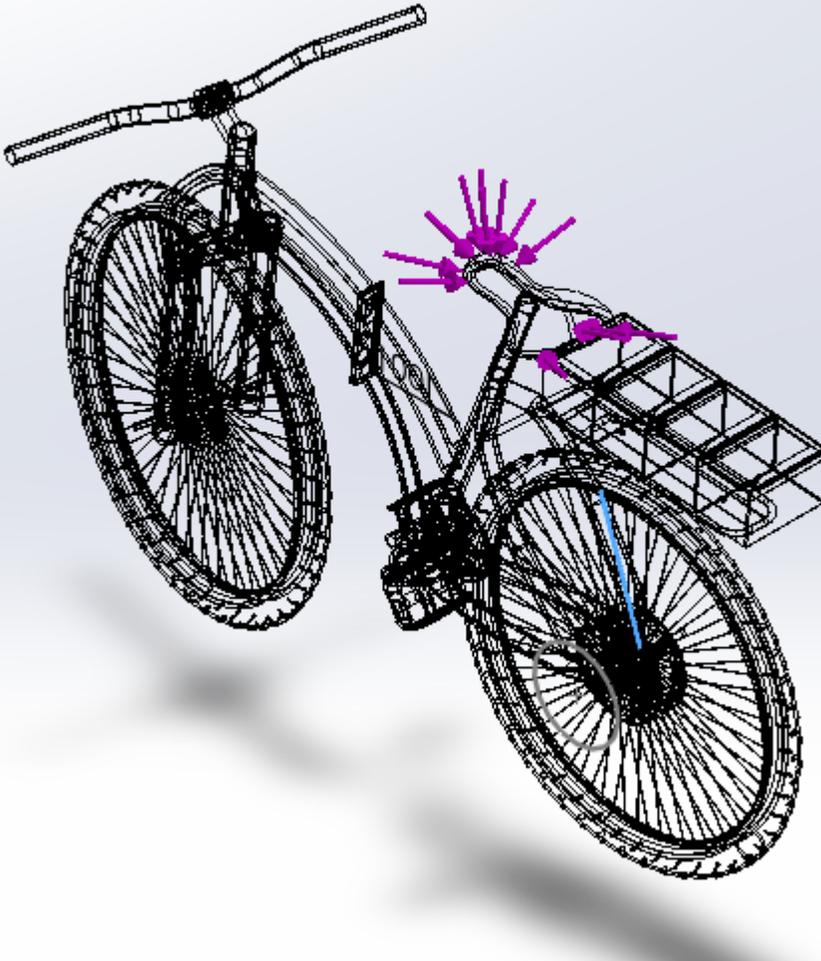
Figura 13: Bicicleta modelado CAD



Fuente: Autores

3. Simulación motion

Figura 14: Bicicleta carga puntual análisis estático



Fuente: Autores

Figura 15: Simulación Estática



Fuente: Autores

4. Listado de materiales y adquisición de componentes

Tabla 5: listado de partes

LISTADO		
Motor eléctrico	JS48 V-350 W	
Batería	Batería de plomo ácido 12V 7.5Ah	

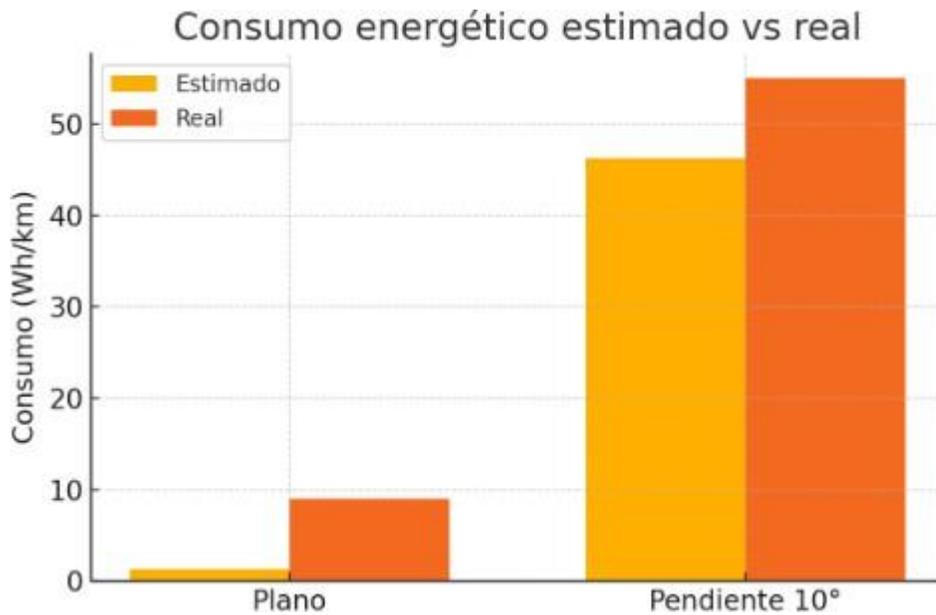
			
<p>Acelerador</p>	<p>Acelerador medio giro mano derecha</p>		
<p>Cargador</p>	<p>Li-ion Battery Charger- Model DPLC110 V55 INPUT: 100-240V~ 50/60Hz 2.0A OUTPUT: 54.6V– 2.0A</p>		
<p>Monitor</p>	<p>H56CH 100V H56C Coulomb Meter</p>		

Pantalla	Pantalla LCD Modelo: SW900	
Controlador	DC Motor controller Voltage: DC48V Current limiting: 18 A	
Sensor de pedaleo	sensor PAS	
Frenos	Freno tipo manija palanca wuxing115PDD- L Faster en Aluminio	

5. Consumo energético

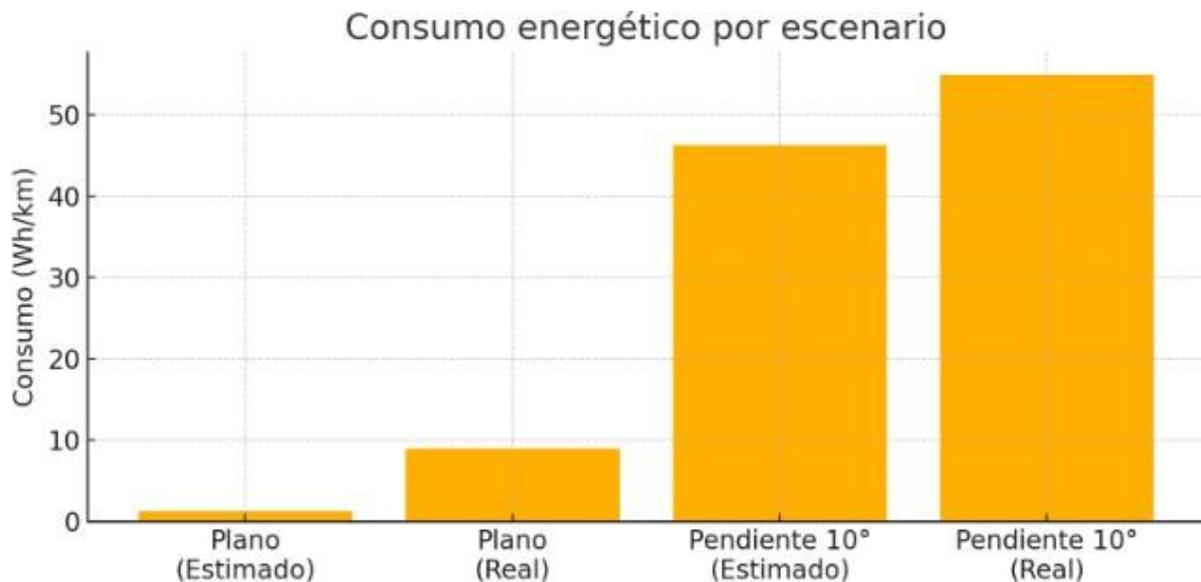
La siguiente figura compara, mediante barras agrupadas, el consumo energético estimado y el medido en condiciones reales para dos situaciones de operación: rodar en terreno plano y ascender una pendiente constante del 10 %. En ambos casos se aprecia que la curva naranja (real) está por encima de la amarilla (estimado), reflejando las pérdidas que el modelo teórico no contempla—eficiencia global del sistema ($\approx 80\%$), rozamientos adicionales en la transmisión, viento y los transitorios de arranque-frenado durante la prueba. La brecha es mucho más marcada en terreno plano: el consumo real ($\approx 9 \text{ Wh km}^{-1}$) supera en unas seis veces la predicción ($1,3 \text{ Wh km}^{-1}$), mientras que en pendiente el exceso es del 19 %. Ello indica que el modelo gravitacional empleado para rampas capta casi toda la potencia demandada, pero la simplificación para plano subestima considerablemente las resistencias externas.

Figura 16: Consumo energético estimado vs consumo real



Fuente: Autores

Figura 17: Consumo energético por escenario



Fuente: Autores

La anterior figura muestra los mismos datos en cuatro barras individuales, permitiendo visualizar rápidamente el orden de magnitud absoluto de cada escenario. Se evidencia cómo el perfil más exigente—pendiente del 10 % medido—alcanza el rango de 55 Wh km^{-1} , casi dos órdenes de magnitud por encima del rodamiento plano estimado. Este formato facilita la comunicación de prioridades de diseño: cualquier optimización para trayectos urbanos llanos debería centrarse en minimizar fricción mecánica y resistencias aerodinámicas, mientras que para rutas con gran inclinación el foco debe ser mejorar la eficiencia motriz y, en menor medida, reducir masa.

7. Cálculos

1. Cálculos eléctricos

Datos técnicos:

- Motor: 350 W
- Batería: 48 V (4 baterías de 12 V Pb-ácido)
- Radio efectivo rueda rin 26: $r = 0.33 \text{ m}$
- Masa total estimada: 90-95 kg (estructura + usuario + baterías)
- Velocidad de operación: 15 km/h (4.16 m/s)
- Resistencia a la rodadura: $C_r = 0.005$ (Para asfalto)
- Gravedad: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

2. CÁLCULOS DINÁMICOS.

F_r = fuerza de rodadura (N)

C_r = coeficiente de rodadura

m = masa total (kg)

g = gravedad (m/s^2)

Cálculo en Superficie plana

$$F_r = C_r * m * g \quad F_r = C_r * m * g$$

$$F_r = 0,005 * 95 \text{kg} * 9,81 \text{m/s}^2 \quad F_r = 0,005 * 95 \text{kg} * 9,81 \text{m/s}^2$$

$$F_r = 4,66 \text{ N} \quad F_r = 4,66 \text{ N}$$

τ = torque ($\text{N} * \text{m}$)

r = radio de la rueda (m)

F = fuerza tangencial (N)

$$\tau = r * F_r \quad \tau = r * F_r$$

$$\tau = 0,33m * 4,66N \quad \tau = 0,33m * 4,66N$$

$$\tau = 1,54 \text{ Nm} \quad \tau = 1,54 \text{ Nm}$$

Superficie con una pendiente de 10°

Fg: fuerza de gravedad en pendiente (N)

m: masa total (kg)

g: aceleración gravitacional (m/s^2)

θ : ángulo de inclinación de la pendiente (grados)

$$F_g = m * g * \text{sen}(\theta) \quad F_g = m * g * \text{sen}(\theta)$$

$$F_g = 95kg * 9,81m/s^2 * \text{sen}(10^\circ) \quad F_g = 95kg * 9,81m/s^2 * \text{sen}(10^\circ)$$

$$F_g = 162,2N \quad F_g = 162,2N$$

$$F_{total} = F_r + F_g \quad F_{total} = F_r + F_g$$

$$F_{total} = 4,66N + 162,2N \quad F_{total} = 4,66N + 162,2N$$

$$F_{total} = 166,86N \quad F_{total} = 166,86N$$

$$\tau = r * F_{total} \quad \tau = r * F_{total}$$

$$\tau = 0,33m * 166,86N \quad \tau = 0,33m * 166,86N$$

$$\tau = 57,07Nm \quad \tau = 57,07Nm$$

Torque entregado por el motor

ω = velocidad angular (rad/s)

v = velocidad lineal (m/s)

r = radio (metros)

$P_{\text{útil}} = P_{\text{motor}} * \eta$ (80% \approx 0.8)

$\omega = vr$

$\omega = 4,16 \text{ m/s} / 0,33 \text{ m} = 12,6 \text{ rad/s}$

$\omega = 12,6 \text{ rad/s}$

$\tau_{\text{motor}} = P_{\text{útil}} / \omega$

$\tau_{\text{motor}} = 350 \text{ W} / 12,6 \text{ rad/s} = 27,78 \text{ Nm}$

$\tau_{\text{motor}} = 22,22 \text{ Nm}$

Reducción = 55,722,22

Reducción = 2,48 : 1

3. CONSUMO ENERGÉTICO

Cálculo en Superficie plana - 1 Km

$P = Fr * v$

$P = 4,66 \text{ N} * 4,16 \text{ m/s} = 19,38 \text{ W}$

$$P=19,38 \text{ W} \quad WP=19,38 \text{ W}$$

$$\text{tiempo}=1000 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m/s} / \text{tiempo}=1000 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m/s}$$

$$\text{tiempo}=240 \text{ s} \quad \text{tiempo}=240 \text{ s}$$

$$E=P \cdot t \quad E=P \cdot t$$

$$E=19,38 \text{ W} \cdot 240 \text{ s} \quad E=19,38 \text{ W} \cdot 240 \text{ s}$$

$$E=4,65 \text{ KJ} \approx 1,29 \text{ Wh} \quad E=4,65 \text{ KJ} \approx 1,29 \text{ Wh}$$

Superficie con una pendiente de 10° - 1 Km

$$P=F_{\text{total}} \cdot v \quad P=F_{\text{total}} \cdot v$$

$$P=166,86 \text{ N} \cdot 1,6 \text{ m/s} \quad P=166,86 \text{ N} \cdot 1,6 \text{ m/s}$$

$$P=694,1 \text{ W} \quad WP=694,1 \text{ W}$$

$$E=694,1 \text{ W} \cdot 240 \text{ s} \quad E=694,1 \text{ W} \cdot 240 \text{ s}$$

$$E=166,6 \text{ KJ} \approx 46,28 \text{ Wh} \quad E=166,6 \text{ KJ} \approx 46,28 \text{ Wh}$$

5. Conclusiones:

- La cinemática del sistema de tracción directa, basada en la relación entre velocidad angular y lineal, permite optimizar el diseño para lograr un balance adecuado entre velocidad, torque y autonomía, cumpliendo con los requisitos de rendimiento del reto RELIEVE.
- El control preciso de la aceleración angular mediante el controlador y sensores de pedaleo asegura una transición suave entre la potencia humana y la eléctrica, mejorando la eficiencia del desplazamiento y la experiencia del usuario en diferentes condiciones del terreno.
- El diseño plegable de la bicicleta no afecta negativamente la cadena cinemática, lo que permite mantener la integridad funcional del sistema de transmisión incluso después de plegados repetitivos, favoreciendo su portabilidad sin comprometer el rendimiento.
- La posibilidad de modelar y simular el comportamiento cinemático del vehículo antes de la competencia permite realizar ajustes en parámetros clave (geometría, velocidad angular, relaciones de transmisión) para maximizar la eficiencia energética y la estabilidad dinámica en cada tramo del recorrido.
- Las mediciones de campo registran valores bajos en terreno llano y aumentos proporcionales en ascenso, diferenciándose de la predicción analítica en márgenes atribuidos a pérdidas por rodadura y efectos aerodinámicos. Estos hallazgos sugieren la incorporación de un factor de corrección empírico en futuras simulaciones.

6. Recomendaciones:

1. **Justificación continua del uso de baterías de plomo-ácido**

- Aunque existen alternativas más eficientes como las baterías de ion-litio, se recomienda continuar **utilizando baterías de plomo-ácido si así lo exige la normativa técnica o el lineamiento académico**, pero complementarlo con un análisis comparativo de desempeño frente a otras tecnologías, destacando ventajas como su bajo costo, robustez y facilidad de reciclaje.

2. **Documentar el proceso de validación de normas técnicas**

- Dado que el uso de ciertos componentes obedece al cumplimiento de normas específicas, sería valioso **incluir una sección explícita que documente cómo se aplicó y validó cada requerimiento normativo**, lo cual fortalece el rigor académico y facilita futuras auditorías o comparaciones técnicas.

3. **Mejoras en el diseño estructural del sistema de soporte**

- Se recomienda reforzar el diseño de la **base de baterías** y sus anclajes con criterios de análisis estructural más detallados. Por ejemplo, realizar simulaciones de carga dinámica considerando vibraciones, impactos y esfuerzos en terrenos irregulares para asegurar su resistencia y durabilidad en escenarios reales.

4. **Ampliar las pruebas de campo en diversos entornos**

- Se sugiere extender las pruebas prácticas a diferentes tipos de superficie y condiciones climáticas (lluvia ligera, calor, inclinaciones más pronunciadas). Esto permitirá evaluar con mayor profundidad la estabilidad, eficiencia energética y comportamiento del sistema bajo variaciones del entorno, todo dentro de contextos seguros y controlados.

5. Uso de métricas más amplias de evaluación

- Además de la velocidad y el consumo energético, incorporar otros indicadores como la **durabilidad de componentes**, el **desempeño del frenado** o el **nivel de vibración** durante el uso aportaría una visión más integral del comportamiento del sistema, especialmente si se piensa en escalar el diseño o compararlo con otros modelos.

6. Mayor integración entre teoría y práctica

- Continuar fortaleciendo el vínculo entre simulaciones CAD (cinemáticas, estructurales) y los resultados reales de campo. Esto no solo valida los modelos, sino que mejora la capacidad de predicción de futuras mejoras de diseño. Comparar las salidas de SolidWorks con los datos empíricos (velocidad, torque, RPM) puede generar discusiones técnicas valiosas en clase o en informes.

7. Revisión periódica del sistema eléctrico

- A pesar de que el sistema eléctrico no presentó fallos importantes, se recomienda implementar **mantenimientos preventivos regulares** para detectar deterioros en los terminales, posibles sulfataciones en baterías o deterioro en conectores. Esto garantiza seguridad, continuidad operativa y confianza durante las pruebas.

8. Desarrollar guías de montaje y mantenimiento

- Como parte de un enfoque académico integral, se podría complementar el proyecto con la elaboración de **manuales o instructivos de ensamblaje, uso y mantenimiento**. Este material puede servir de apoyo a estudiantes de semestres posteriores o como base para reproducir el proyecto en otros contextos.

9. Profundizar en el análisis de eficiencia energética

- Se recomienda realizar **experimentos controlados de consumo** a diferentes velocidades y condiciones de carga, con y sin pedaleo asistido. Esto permitirá calcular mejor el rendimiento del sistema, analizar pérdidas reales y fomentar el uso de conceptos de eficiencia energética dentro del aula.

10. Difusión del proyecto como material didáctico

- Finalmente, dado el nivel de desarrollo técnico y académico alcanzado, se sugiere **divulgar los resultados en eventos internos o semilleros**, o incluso elaborar material audiovisual explicativo para redes sociales académicas. Esto estimula el interés por la movilidad sostenible y el aprendizaje activo en ingeniería.

7. Bibliografía:

- Granda Altamirano, R. A., & Okumura Hosaka, G. (2021). *Estudio de prefactibilidad para la producción de bicicletas eléctricas plegables*. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/14743>
- Ríos Vélez, A. F., Botero Zuluaga, D. A., & Ramírez Pérez, L. J. (2018). Diseño de bicicleta plegable para el uso diario urbano utilizando materiales renovables. *Revista INVI*, 33(93), 143-165. <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/RChDCP/article/view/50716>
- Agencias. (s. f.). *Una bicicleta plegable que cabe en un maletín*. El 19 Digital. Recuperado 3 de mayo de 2025, de <https://www.el19digital.com/articulos/ver/22367-una-bicicleta-plegable-que-cabe-en-un-maletin>

- Chan, C. C. (2013). *The state of the art of electric and hybrid vehicles*. Proceedings of the IEEE, 90(2), 247-275. <https://doi.org/10.1109/5.989873>
- De Greef, T., & Hubert, M. (2019). *Electric bicycles: A sustainable mode of transport?* Transportation Research Procedia, 41, 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.039>
- DFRobot. (2023). *Coulomb Meter H56CH 100V User Manual*. Recuperado de <https://www.dfrobot.com>
- Hawkins, A. J. (2024a, septiembre 24). *Brompton's new G Line folding bike is its biggest redesign in 50 years*. The Verge. <https://www.theverge.com/2024/9/24/24252957/brompton-g-e-bike-redesign-20-inch-specs-price>
- Oliveira, P. (2016, mayo 20). *ESSENCE Folding Bicycle Bachelorship Project*. Behance. <https://www.behance.net/gallery/1810145/ESSENCE-Folding-Bicycle-Bachelorship-Project>
- Kamatkar, P. (2013, marzo 5). *Ride 2.0: The Folding Bicycle Designed for Common Man*. Designboom. <https://www.designboom.com/project/ride-2-0-the-folding-bicycle-designed-for-common-man/>
- Yanko Design. (2018, agosto 17). *Everything You Want from a Car... in a Folding Bicycle*. <https://www.yankodesign.com/2018/08/17/everything-you-want-from-a-car-in-a-folding-bicycle/>
- Chang, K. (2016, febrero 10). *The Stylish Concept Bike We Can't Wait to Buy*. Condé Nast Traveler. <https://www.cntraveler.com/stories/2016-02-10/the-stylish-concept-bike-we-cant-wait-to-buy>
- Ossby. (2023). *Somos ganadores de los premios IF Design con nuestra bicicleta eléctrica plegable Ossby GEO*. <https://ossby.com/somos-ganadores-de-los-premios-if-design-con-nuestra-bicicleta-electrica-plegable-ossby-geo/> Ossby: Bicicletas eléctricas plegables
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2013). *Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica* (9.ª ed.). McGraw-Hill.
- Weinert, J., Ma, C., & Cherry, C. (2007). *The transition to electric bikes in China: History and key issues*. Environmental Science & Technology, 41(14), 484-488. <https://doi.org/10.1021/es062512j>
- Bendsøe, M. P., & Sigmund, O. (2003). *Topology optimization: Theory, methods, and applications*. Springer.

- Bourne, J., Cherrett, T., Waterson, B., & Shires, J. (2020). The potential for e-bikes to deliver sustainable transport. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101918.
- Cherry, C. R. (2007). Electric two-wheelers in China: Analysis of environmental, safety, and mobility impacts. *University of California, Berkeley*.
- Goetzke, F., & Rave, T. (2011). Bicycle use in Germany: Explaining differences between municipalities with social network effects. *Urban Studies*, 48(2), 427-436.
- González, A. M. (2018). *Movilidad eléctrica: Tecnologías y aplicaciones*. Alfaomega.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Resistencia de materiales* (9.ª ed.). Pearson.
- Norton, R. L. (2014). *Diseño de maquinaria: Una introducción a la síntesis y análisis de mecanismos y máquinas* (4.ª ed.). McGraw-Hill.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/es>
- Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- OMS. (2021). *Air pollution*. <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>

8. Anexos:

Pruebas y validaciones



Fuente: Prueba de RPM del motor



Fuente: Medición de revoluciones por minutos
En la bicicleta sin conductor



Fuente: Inspección visual de la bicicleta completa



Fuente: Soporte anclado de baterías



Fuente: conexión en serie de baterías 12V



Fuente: Prueba de compatibilidad del controlador
Y motor



Fuente: Prueba de rendimiento en pendiente

Principales Usos:

- Alarma de incendio y sistemas de seguridad
- Sistema de alimentación ininterrumpida
- Equipamiento eléctrico y equipos de telemetría
- Motores inalámbricos de césped
- Aspiradoras y lavadoras
- Juguetes y electrónica de consumo
- Herramientas eléctricas portátiles
- Almacenamiento de energía solar.

Principales Características:

- Marca: Fuli Battery
- Modelo: FL1275
- Capacidad: 12V - 7.5AH / 20HR
- Batería Sellada de Plomo - Acido
- Recargable
- Libre de Mantenimiento

Fuente: ficha técnica de las baterías

En el siguiente video se documentan las pruebas de desempeño de la bicicleta eléctrica, realizadas sobre dos tipos de terreno: un tramo recto y una rampa con inclinación moderada.

Durante el recorrido en superficie plana, con una distancia aproximada de 50 metros, la bicicleta alcanzó una velocidad máxima de **32 km/h**, mostrando un buen nivel de aceleración y estabilidad. Posteriormente, se realizó una segunda prueba en un plano inclinado, donde, tras tomar impulso desde un tramo previo, la bicicleta consiguió iniciar el ascenso a buena velocidad.

Sin embargo, al avanzar por la pendiente, se evidenció una **ligera desaceleración** producto de la inclinación del terreno, estabilizándose finalmente en una velocidad de aproximadamente **28 km/h**. Este comportamiento es natural en sistemas eléctricos de tracción cuando enfrentan cargas ascendentes, ya que la demanda de potencia aumenta. La toma de impulso antes de la rampa fue clave para mitigar esta pérdida de velocidad y facilitar el ascenso con mayor eficiencia.

Estas pruebas permiten evaluar el rendimiento del sistema motorizado en condiciones reales, destacando su capacidad para mantener una velocidad funcional tanto en trayectos planos como en pendientes moderadas.

<https://youtu.be/Lvp2okkaWKc?si=fSWgdS54cen8L4ph>

* Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

** PA: Proyecto de Aula, PI: Proyecto integrador, TI: Trabajo de Investigación, RE: Recursos Educativos Digitales Abiertos (REDA)