

**DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN DENOMINADO “PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA
LIMPIA DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZANDO ENERGÍAS
RENOVABLES GENERADA MEDIANTE PEDALEO PARA EL BENEFICIO DE LA
COMUNIDAD UNIVERSITARIA”**

Tomás Serna Sepúlveda

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL
BRAVO FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS
MUNICIPIO
2025**

**DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN DENOMINADO “PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA
LIMPIA DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS UTILIZANDO ENERGÍAS
RENOVABLES GENERADA MEDIANTE PEDALEO PARA EL BENEFICIO DE LA
COMUNIDAD UNIVERSITARIA”**

Tomás Serna Sepúlveda

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo
en Sistemas Mecatrónicos**

Asesor

**Jesús Ignacio Calle Pérez
Especialista en Administración de la Informática Educativa**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS
MUNICIPIO
2025**

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract	12
Glosario	14
Introducción	17
1)Planteamiento del problema	18
1.1 Descripción	18
1.2 Formulación	19
2)Justificación	21
3)Objetivos.....	23
3.1 Objetivo general.....	23
3.2 Objetivos específicos	23
4)Marco teórico	24
4.1 Antecedentes de los Sistemas de Generación de Energía Mediante Pedaleo	24
4.1.1 Contexto Global en Entornos Universitarios.	24
4.1.2 Experiencias Colombianas en Generación por Pedaleo.	25

4.1.3 Tendencias y Proyecciones Nacionales.	26
4.2 Conceptos Técnicos del sistema eléctrico	27
4.2.1 Generación.	27
4.2.2 Rectificación.	27
4.2.3 Regulación.	28
4.2.4 Control de carga.....	28
4.2.5 Almacenamiento.	28
4.2.6 Conversión final.....	28
4.2.7 Human Power.....	29
4.2.8 Energía limpia.	29
4.2.9 Conversión de energía.....	29
4.2.10 Sostenibilidad energética.....	29
4.2.11 Autonomía energética.	30
4.4 Baterías para Sistemas de Energía Renovable	30
4.4.1 Plomo-Ácido de Ciclo Profundo (Flooded Lead-Acid).....	30
4.4.2 Plomo-Ácido AGM (Absorbent Glass Mat).	31
4.4.3 Plomo-Ácido Gel.	32

4.4.4 Ión de Litio (Li-ion/LiFePO ₄).	32
4.5 Sistemas de Conversión y Regulación de Energía	33
4.5.1 Alternadores y Dinamos.	33
4.6 Caracterización de Cargas para el Sistema	35
4.6.1 Cargas Electrónicas de Baja Potencia y Características Claves.	35
4.7 Normatividad y Seguridad en Sistemas de Generación de Energía	37
4.7.1 Normatividad Eléctrica y de Seguridad Aplicable.	38
5) Metodología	40
5.1 Tipo de proyecto	40
5.2 Método	41
5.3 Población y muestra	45
5.4 Instrumentos de recolección de información	46
5.4.1 Fuentes primarias.	46
5.4.2 Fuentes secundarias.	46
6. Resultados	47
6.1 Desarrollo del primer objetivo específico: Diseño eléctrico del sistema	48
7 Conclusiones	56

8 Recomendaciones.....	58
9 Referencias bibliográficas	60
10. Bibliografía.....	63
11. Anexos.....	65

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Baterías de plomo inundadas Plomo-Ácido de Ciclo Profundo (Flooded Lead-Acid).....	31
Ilustración 2. Plomo-Ácido AGM (Absorbent Glass Mat).....	31
Ilustración 3. BATERÍA GEL PLOMO. Plomo-Ácido Gel.....	32
Ilustración 4. batería LiFePO4 Ión de Litio (Li-ion/LiFePO4).....	33
Ilustración 5. Esquema general del subsistema aislado.....	41
<i>Ilustración 6.</i> Diseño de bicicleta estática.....	42
Ilustración 7. Diseño e implementación de un generador eléctrico lineal en la suspensión de bicicletas.....	44
Ilustración 8. Diagrama básico de los dos subsistemas.....	48
Ilustración 9. Esquema actualizado del sistema eléctrico con integración de almacenamiento, protección y monitoreo	49
Ilustración 10. Panel de pantallas y tomas. Mesa de estudio	50
Ilustración 11. Componentes Físicos Principales del Sistema Eléctrico	51

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1	34
Tabla 2	37

Lista de anexos

Anexo A. Bocetos 2D planos eléctricos.....	65
Anexo B. Plano pictórico 3D	66

Pág.

Resumen

Desarrollo del sistema eléctrico para el proyecto de investigación denominado “prototipo de un sistema de carga limpia de dispositivos electrónicos utilizando energías renovables generada mediante pedaleo para el beneficio de la comunidad universitaria”

Tomás Serna Sepúlveda

El proyecto de grado, titulado "Prototipo de un sistema de carga limpia de dispositivos electrónicos utilizando energías renovables generada mediante pedaleo para el beneficio de la comunidad universitaria", se concibió en la Institución Universitaria Pascual Bravo como una solución viable a la creciente demanda de acceso a energía eléctrica sostenible en espacios académicos. Ante la limitación y dependencia de la red eléctrica convencional para la carga de dispositivos electrónicos móviles, lo que generaba problemas de disponibilidad y sobreconsumo, se diseñó y construyó un sistema innovador capaz de transformar la energía mecánica generada mediante el pedaleo de una bicicleta estática en energía eléctrica utilizable, segura y estable.

La metodología aplicada fue de tipo experimental y tecnológico-descriptivo, abarcando fases de diagnóstico, revisión bibliográfica, diseño eléctrico, construcción del prototipo y validación funcional. El sistema está compuesto por un generador de corriente continua, un rectificador, un regulador de voltaje, un controlador de carga, una batería de ciclo profundo y un inversor de onda senoidal pura, además de un módulo de monitoreo. Estos componentes trabajan de manera integrada para garantizar una salida de 125 Vca en tomas NEMA 5-15R y 5 Vcc en puertos USB-A, asegurando la alimentación de celulares, *tablets* y *laptops* con energía de calidad.

Los resultados demostraron que el prototipo es altamente eficiente, proporcionando energía estable con una eficiencia aproximada del 65–70 %, autonomía en condiciones de pedaleo intermitente y pleno cumplimiento de las normas de seguridad eléctrica. Este trabajo no solo ofrece una alternativa tecnológica viable que reduce la dependencia de la red convencional y fomenta el uso de energías limpias, sino que también promueve hábitos saludables a través de la actividad física y contribuye a fortalecer la conciencia ambiental y la sostenibilidad dentro de la comunidad universitaria. Se proyecta su escalabilidad a otros entornos como gimnasios, bibliotecas y espacios públicos, representando un aporte significativo a la innovación educativa y la reducción del impacto ambiental.

Palabras claves: energía renovable, pedaleo, carga limpia, dispositivos electrónicos, sostenibilidad.

Abstract

Electronic Devices Using Renewable Energy Generated by Pedaling for the Benefit of the University Community

Tomás Serna Sepulveda

The thesis, entitled "Prototype of a clean charging system for electronic devices using renewable energy generated by pedaling for the benefit of the university community," was conceived at Pascual Bravo University Institution as a viable solution to the growing demand for access to sustainable electrical energy in academic spaces. Given the limitations and dependence on the conventional electrical grid for charging mobile electronic devices, which generated availability and overconsumption issues, an innovative system was designed and built capable of transforming the mechanical energy generated by pedaling a stationary bicycle into usable, safe, and stable electrical energy.

The methodology applied was experimental and technological-descriptive, encompassing diagnostic phases, literature review, electrical design, prototype construction, and functional validation. The system is composed of a direct current generator, a rectifier, a voltage regulator, a charge controller, a deep-cycle battery, a pure sine wave inverter, and a monitoring module. These components work together to guarantee a 125 V AC output in NEMA 5-15R outlets and 5 V DC in USB-A ports, ensuring quality power for cell phones, tablets, and laptops.

The results demonstrated that the prototype is highly efficient, providing stable power with an approximate efficiency of 65–70%, autonomy under intermittent cycling conditions, and full compliance with electrical safety standards. This work not only offers a viable technological alternative that reduces dependence on the conventional grid and encourages the use of clean energy, but also promotes healthy habits through physical activity and contributes to strengthening environmental awareness and sustainability within the university community. Its scalability to other environments such as gyms, libraries, and public spaces is projected, representing a significant contribution to educational innovation and reducing environmental impact.

Keywords: renewable energy, cycling, lean charging, electronic devices, sustainability.

Glosario

Batería de ciclo profundo: Un tipo de batería diseñada para proporcionar una cantidad de energía constante durante un período prolongado y para ser descargada de manera significativa (usualmente entre el 45% y el 80% de su capacidad total) de forma repetitiva, recuperando su carga a través de ciclos de carga/descarga.

Beneficio comunitario: impacto positivo generado por un proyecto o acción en un grupo social, mejorando su calidad de vida o facilitando sus actividades diarias.

Controlador de carga: Dispositivo electrónico que regula el voltaje y la corriente que fluye desde los paneles solares (o un generador) hacia el banco de baterías. Su función principal es prevenir la sobrecarga y la sobredescarga de las baterías, lo que prolonga drásticamente su vida útil.

Diodo tipo stud o perno: es un diodo de potencia encapsulado en una cápsula metálica robusta, diseñado para disipar grandes cantidades de calor. Su nombre proviene de su estructura física: consiste en un cuerpo principal (el "perno" o "stud") que actúa como uno de los terminales eléctricos y como un eficaz disipador de calor integrado, y un terminal más delgado (generalmente un cable u otra pieza metálica) que es el otro contacto. Están optimizados para operar con corrientes directas (IF) muy altas y tensiones inversas (VR) considerables.

Dispositivos electrónicos: aparatos que funcionan mediante circuitos eléctricos y electrónicos, como teléfonos móviles, laptops o tablets.

Energía mecánica: forma de energía asociada al movimiento o posición de un objeto, que puede transformarse en energía eléctrica mediante dispositivos como alternadores.

Energía renovable: son energías que vienen de los recursos naturales como el sol, el viento o el agua, y que no tiene emisiones contaminantes.

Generador de corriente directa: Máquina eléctrica que convierte energía mecánica (rotación) en energía eléctrica en forma de Corriente Directa (CD), donde el flujo de carga es constante y en una sola dirección.

Inversor de voltaje: Dispositivo electrónico de potencia que convierte la Corriente Directa (CD o DC) de una fuente, como una batería o un panel solar, en Corriente Alterna (CA o AC) con el voltaje y la frecuencia necesarios para alimentar equipos domésticos e industriales.

Regulador de voltaje: Circuito o dispositivo diseñado para mantener un voltaje de salida constante y estable, independientemente de las variaciones en el voltaje de entrada o en la corriente de carga consumida.

Sostenibilidad: capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos

ni el medio ambiente para las generaciones futuras.

Oscilación: es un fenómeno en un sistema de alimentación con corriente directa para el proceso de transformación a diversas fuentes de energía que se conoce en el concepto de corriente alterna.

Pico de voltaje (Surge o Spike): Un aumento abrupto y de muy corta duración (milisegundos o microsegundos) en el voltaje, muy por encima del nivel nominal.

Standby: Modo de bajo consumo para no descargar la batería cuando no hay carga conectada, contribuyendo a su eficiencia.

Valle de Voltaje (Sag o Dip): Una disminución breve en el voltaje por debajo del nivel nominal.

Introducción

El acceso confiable a la energía eléctrica es una necesidad fundamental en los espacios académicos modernos, debido a la creciente dependencia de dispositivos electrónicos como teléfonos móviles (celulares), tabletas y computadores portátiles. En instituciones universitarias, la alta demanda de carga de estos equipos suele generar limitaciones por la dependencia exclusiva de la red eléctrica convencional, lo cual no solo compromete la disponibilidad del servicio, sino que también incrementa el consumo energético y la huella ambiental.

En este contexto, el proyecto de investigación surge como una alternativa tecnológica sostenible. El mismo busca aprovechar la energía mecánica producida por el pedaleo de una bicicleta estática para transformarla en energía eléctrica limpia y estable.

Asimismo, el desarrollo del proyecto se llevará a cabo mediante un proceso secuencial que inicia con el análisis del funcionamiento mecánico de la bicicleta estática y la selección del sistema de generación adecuado para convertir el pedaleo en energía eléctrica. Posteriormente, se integrará un conjunto de componentes eléctricos como generadores, reguladores y sistemas de almacenamiento (diseñados para garantizar un flujo de energía estable y seguro para la carga de dispositivos móviles). Finalmente, se construirá y evaluará un prototipo funcional dentro de un entorno universitario, con el objetivo de validar su eficiencia, su aporte al ahorro energético y su viabilidad como solución renovable complementaria a la infraestructura eléctrica convencional.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

El desarrollo sostenible a nivel global ha enfatizado la necesidad de buscar y adoptar alternativas energéticas limpias y descentralizadas que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles. Un desafío inherente a este cambio es la integración de sistemas de baja potencia que sean accesibles y promuevan la conciencia ambiental, especialmente en entornos de alto tráfico de usuarios y alta demanda de recarga de dispositivos electrónicos, como lo son las instituciones de educación superior.

A escala nacional, esta problemática se traduce en la búsqueda de soluciones prácticas para el déficit de infraestructura eléctrica que soporta la carga masiva y simultánea de dispositivos personales. Específicamente, en el contexto universitario, la alta concentración de estudiantes y personal que requieren mantener operativos sus smartphones, tabletas o portátiles impone una presión significativa sobre los puntos de energía convencionales, llevando a la congestión de tomas y, en ocasiones, a prácticas de conexión inseguras o ineficientes.

En la Institución Universitaria [Nombre de la Institución], esta situación se manifiesta en la escasez de puntos de recarga disponibles en áreas comunes (bibliotecas, cafeterías y zonas de espera). Esta limitación no solo afecta la productividad y la experiencia del usuario, sino que también desaprovecha una oportunidad valiosa para integrar la energía cinética humana como

fuente de energía renovable.

Por lo tanto, la problemática central que motiva este proyecto es: ¿Cómo diseñar, desarrollar e implementar un sistema eléctrico autónomo y seguro que permita la transformación eficiente de la energía mecánica generada por pedaleo en energía eléctrica limpia para la recarga de dispositivos electrónicos, aprovechando el potencial de la comunidad universitaria y promoviendo la sostenibilidad dentro del campus?

1.2 Formulación

¿Cómo diseñar e integrar el sistema eléctrico de un prototipo de carga por pedaleo que, cumpliendo criterios de seguridad, eficiencia y calidad de energía, entregue 125 Vca (NEMA 5-15R) y 5 Vcc (USB-A) de forma estable, ¿atendiendo el perfil real de uso de la comunidad universitaria y la variabilidad inherente a la generación de energía de forma humana?

Adicional a esta pregunta general se plantean una serie de preguntas alternativas que son claves en el desarrollo del diseño eléctrico necesario para el proyecto de generación de energía limpia por pedaleo inicialmente mencionado.

1. ¿Qué topología de generación (y rango de tensión/corriente a cadencias típicas) y qué relación de transmisión permiten un punto de operación adecuado para la electrónica de

acondicionamiento?

2. ¿Qué arquitectura de regulación y control de carga (y umbrales) minimiza pérdidas y garantiza calidad de energía (rizado y regulación dentro de bandas seguras) hacia batería e inversor?

3. ¿Qué capacidad de batería y potencia/forma de onda del inversor se requieren para soportar cargas simultáneas (p. ej., 1–2 portátiles + móviles) con pedaleo intermitente, y con qué autonomía?

4. ¿Qué esquema de protecciones (eléctricas y térmicas), puesta a tierra y señalización aseguran la seguridad del usuario y de los equipos conectados?

5. ¿Qué indicadores de desempeño (Wh generados por sesión, eficiencia global, tiempo hasta carga útil, disponibilidad) permiten validar el prototipo en condiciones reales de campus?

Para el desarrollo del diseño eléctrico se plantean una serie de supuestos e hipótesis de diseño, los cuales serían verificables en los resultados finales de dicho desarrollo:

- Un sistema de conversión compuesto por generador CC + rectificador de perno + regulador de voltaje + controlador de carga + sistema de control de carga y visualización + batería de ciclo profundo + inversor de corriente (de onda senoidal pura) puede entregar energía

estable a 125 Vca y 5 Vcc USB-A, con eficiencia global aceptable y variación de tensión dentro de límites seguros para dispositivos comunes del campus.

- Con un dimensionamiento adecuado (potencia continua objetivo del orden de baja a media, y almacenamiento proporcional al pico de demanda), el sistema reduce la dependencia de la red y mantiene una experiencia de usuario comparable a una toma convencional, bajo protocolos de seguridad eléctrica vigentes.

El prototipo se orienta a cargas electrónicas de baja y media potencia, en ambientes universitarios, con uso supervisado; no busca alimentar cargas fuertemente inductivas o de alto arranque. El alcance de este informe se restringe al diseño e integración eléctrica (no mecánica del chasis), con énfasis en acoplamiento de bloques, protecciones, medición y criterios de validación.

2. Justificación

El presente proyecto se justifica por su capacidad de abordar una problemática real y urgente dentro de la Institución Universitaria Pascual Bravo y por su alineación con los principios de la sostenibilidad y la innovación educativa. La institución enfrenta una creciente demanda de carga para dispositivos electrónicos por parte de la comunidad, lo que somete a presión a la infraestructura eléctrica limitada, genera problemas de disponibilidad en horas pico e incrementa el sobre consumo energético dependiente de fuentes tradicionales.

El diseño e implementación de un sistema eléctrico basado en energía renovable generada mediante pedaleo ofrece una solución alternativa innovadora y funcional que promueve la autonomía energética en puntos estratégicos del campus. Al transformar el esfuerzo humano en energía eléctrica útil, el prototipo no solo diversifica las fuentes de energía y disminuye la dependencia de la red convencional, sino que también contribuye directamente a la reducción de la huella de carbono e incentiva una actitud responsable frente al uso de recursos. De este modo, el proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), ODS 3 (Salud y bienestar) y ODS 13 (Acción por el clima).

Desde la perspectiva técnica y académica, el proyecto es invaluable. Funciona como un "laboratorio vivo" que valida un diseño eléctrico integral (generación, conversión, regulación, almacenamiento e inversión) y permite a los estudiantes interactuar directamente con tecnologías de energías limpias, fortaleciendo competencias prácticas en mecatrónica, electrónica de potencia y normativas eléctricas. A nivel institucional, impulsa la capacidad de generar soluciones prácticas con impacto tangible y sirve como caso de estudio interdisciplinario para cursos de ingeniería y sostenibilidad, facilitando la integración de teoría y práctica.

El impacto trasciende lo meramente académico, generando un doble beneficio: social y ambiental. Al ofrecer un servicio de carga limpia mientras se promueven hábitos saludables mediante la actividad física (pedaleo), se fomenta el bienestar de los usuarios y se fortalece la conciencia ambiental y el sentido de pertenencia en la comunidad. Finalmente, la

implementación a escala piloto justifica la viabilidad técnica y económica del modelo para su futura replicación en otros entornos como gimnasios, bibliotecas o espacios públicos, consolidando el proyecto como un importante aporte al desarrollo sostenible y a la innovación.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar el sistema eléctrico de un prototipo funcional de un sistema de carga limpia de dispositivos electrónicos, utilizando energías renovables generadas mediante el pedaleo de una bicicleta estática. para el beneficio y bienestar de la comunidad universitaria Pascual Bravo.

3.2 Objetivos específicos

Diseñar el sistema eléctrico y los componentes adecuados, que permitan transformar la energía mecánica generada por el pedaleo en energía eléctrica estable para la carga de dispositivos electrónicos.

Integrar el sistema eléctrico de carga limpia, ensamblando los motores eléctricos, controladores, circuitos de almacenamiento y salidas de carga, garantizando un diseño ergonómico y seguro para su uso en la comunidad universitaria.

Validar la eficiencia del sistema mediante pruebas de comisionamiento de los motores eléctricos y del circuito completo, evaluando la capacidad de carga, estabilidad del suministro y

beneficios en sostenibilidad energética para la comunidad universitaria.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes de los Sistemas de Generación de Energía Mediante Pedaleo

El uso de la energía generada por pedaleo como alternativa sostenible ha sido explorado en diversos contextos, especialmente en el ámbito de la microgeneración distribuida. A nivel internacional, universidades y centros de innovación han implementado bicicletas generadoras para iluminar espacios, cargar dispositivos o incluso alimentar pequeños electrodomésticos. Estos proyectos han demostrado que la energía cinética humana puede convertirse en energía eléctrica utilizable con niveles de eficiencia aceptables, siempre que se disponga de sistemas de acondicionamiento y almacenamiento adecuados.

En Colombia, experiencias similares han surgido en iniciativas comunitarias y educativas, enfocadas en fomentar la conciencia ambiental y el aprovechamiento de energías limpias. Sin embargo, la mayoría de estas aproximaciones se han limitado a la demostración experimental, careciendo de un diseño eléctrico integral que garantice seguridad, regulación de tensión y compatibilidad con dispositivos electrónicos sensibles. (Sidén, 2018)

4.1.1 Contexto Global en Entornos Universitarios. El panorama académico internacional valida la madurez técnica del concepto, demostrando la exitosa implementación de sistemas de energía generada por esfuerzo humano en instituciones de prestigio. Por ejemplo, el proyecto

MIT Human Power Station (2022) en Massachusetts, EE. UU., opera como un sistema híbrido bicicleta-estático capaz de generar un pico de 180W. Esta iniciativa destaca por su innovación al integrarse con la red WiFi universitaria para el monitoreo en tiempo real y por establecer un programa pionero de incentivos ("Watts por Créditos Académicos").

De manera similar, la TU Delft Green Campus (2021) en Países Bajos ha demostrado la escalabilidad del sistema mediante el despliegue de 20 estaciones de carga en bibliotecas y centros estudiantiles, logrando una capacidad colectiva de 2.5 kWh/día y una comprobada reducción de 1.2 toneladas de CO₂ anuales. Asimismo, la University of Tokyo Smart Gym (2023) en Japón ilustra la integración tecnológica avanzada al vincular la energía humana con equipos de ejercicio existentes y utilizar almacenamiento en baterías de flujo redox, confirmando una alta eficiencia sistemática del 71% (Kyudenko Corporation, October 25, 2023). Estos casos confirman la viabilidad técnica y el valor estratégico del sistema en grandes instituciones a nivel mundial. (Kyudenko Corporation, October 25, 2023)

4.1.2 Experiencias Colombianas en Generación por Pedaleo. A nivel nacional, la viabilidad técnica del proyecto se refuerza con varias iniciativas exitosas en entornos universitarios colombianos, lo que demuestra la adaptabilidad de la tecnología al contexto local.

La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (2022) desarrolló el prototipo "Bici-Energía" enfocado en la carga de dispositivos móviles. Este proyecto es clave porque valida las especificaciones técnicas requeridas, destacando el uso de un generador trifásico de imanes

permanentes, un controlador MPPT desarrollado localmente y un banco de baterías de 48V LiFePO₄, logrando una potencia promedio sostenida de 89W (Universidad de Antioquia, 2022).

La Universidad de Antioquia, a través del Grupo GIMEL (2021), enfocó su sistema de pedaleo en aplicaciones para comunidades rurales no interconectadas, lo que resalta la capacidad de desarrollo de soluciones localizadas. Sus características destacables incluyen el diseño ergonómico adaptado a la población y la resistencia a condiciones tropicales.

La Universidad EAFIT (2023) implementó la "E-Bike Station", un sistema avanzado con innovaciones como la medición de huella de carbono y su integración con una plataforma IoT universitaria (Universidad EAFIT, 2023), demostrando el potencial de integrar el prototipo propuesto con la infraestructura digital existente. (Universidad EAFIT, 2023)

4.1.3 Tendencias y Proyecciones Nacionales. Las tendencias nacionales y regionales subrayan la relevancia estratégica del proyecto. El Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026 contempla la inclusión de sistemas de generación humana en edificios públicos y promueve incentivos para universidades sostenibles. Estos lineamientos aseguran un futuro marco de inversión y apoyo para la implementación de la tecnología desarrollada. A nivel regional, las iniciativas antioqueñas como "Medellín Valle del Software" y "Universidad Sostenible" establecen metas claras de carbono neutralidad e integración con tecnologías 4.0 (Urrego, 2023), lo que posiciona el prototipo como un proyecto de punta alineado con la visión de desarrollo local. (Urrego, 2023)

Este marco evidencia la viabilidad técnica y el contexto favorable para el desarrollo del proyecto propuesto, basándose en experiencias previas exitosas tanto a nivel internacional como en el contexto específico colombiano y antioqueño.

4.2 Conceptos Técnicos del sistema eléctrico

Es de anotar que el sistema eléctrico de microgeneración a partir de pedaleo, al cual se le está diseñando el sistema eléctrico, está conformado por los siguientes procesos:

4.2.1 Generación. La generación consiste en producir corriente continua a partir del movimiento mecánico del pedaleo. Para ello, el eje de la bicicleta se acopla a un generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica mediante inducción electromagnética. La calidad y cantidad de energía generada dependen de la cadencia, el esfuerzo del usuario y las características del generador utilizado. (WAYBACKMACHINE, 2011)

4.2.2 Rectificación. La rectificación es el proceso mediante el cual la corriente alterna generada de forma natural por algunos tipos de generadores se convierte en corriente continua estable. Esta etapa bloquea corrientes inversas, reduce fluctuaciones iniciales de la señal y protege el sistema frente a posibles retornos de energía hacia el generador. Es un paso esencial para garantizar un flujo eléctrico uniforme hacia el regulador y las baterías. (WAYBACKMACHINE, 2011)

4.2.3 Regulación. La etapa de regulación se encarga de mantener estable el voltaje y la corriente generados por el sistema, evitando variaciones bruscas que puedan afectar los dispositivos conectados o el propio sistema de almacenamiento. Los reguladores aseguran que la energía proveniente del pedaleo, que suele ser irregular, sea acondicionada a valores seguros y constantes. Esto permite proteger las baterías, prevenir sobrevoltajes y garantizar que la energía entregada sea adecuada para la carga de dispositivos electrónicos sensibles. (AVTEK, 2021)

4.2.4 Control de carga. El controlador de carga regula el flujo de energía entre el generador y las baterías, asegurando que estas reciban un voltaje y una corriente adecuados. Su función principal es evitar sobrecargas, sobrevoltajes y descargas inversas que puedan reducir la vida útil del sistema. Además, integra funciones básicas de monitoreo que permiten visualizar parámetros como el nivel de carga y el flujo de corriente. (monsolar, 2015)

4.2.5 Almacenamiento. El sistema de almacenamiento permite guardar la energía generada por el pedaleo para que pueda ser utilizada aun cuando no haya generación activa. Las baterías estabilizan el suministro eléctrico y garantizan disponibilidad continua. Su capacidad y tecnología influyen en la autonomía y desempeño general del prototipo. (Enel X, 2024)

4.2.6 Conversión final. En esta etapa, la energía almacenada en corriente continua se convierte en corriente alterna por medio de un inversor, permitiendo alimentar tomacorrientes convencionales. Esta conversión debe ser estable y con onda senoidal pura para proteger dispositivos electrónicos sensibles y asegurar compatibilidad plena. (Patricio, 2018)

4.2.7 Human Power. Human Power se refiere a la capacidad del ser humano de generar energía a partir de su propio esfuerzo físico, en este caso mediante el pedaleo de una bicicleta estática. La energía mecánica producida en los pedales se transmite a un generador que, mediante inducción electromagnética, convierte este movimiento en energía eléctrica aprovechable. Este proceso permite obtener una fuente limpia y renovable que, al ser acondicionada mediante regulación y almacenamiento, puede alimentar dispositivos electrónicos de manera estable y segura. (Zavala, 2019)

4.2.8 Energía limpia. Hace referencia a las fuentes de energía renovables que no generan emisiones contaminantes ni agotan recursos naturales, lo cual contribuye a mitigar el impacto ambiental y fomentar un modelo de sostenibilidad. (Iberdrola, 2025)

4.2.9 Conversión de energía. El sistema se basa en la transformación de energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador. Este proceso obedece a principios de la física, como la inducción electromagnética, y permite obtener electricidad útil a partir del movimiento humano. (Production Tools, 2025)

4.2.10 Sostenibilidad energética. El uso de energías renovables y sistemas alternativos de generación contribuye a la reducción de emisiones y al aprovechamiento responsable de los recursos, generando un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en el ámbito social y académico. (Desarrollo Sostenible , 2021)

4.2.11 Autonomía energética. La implementación de este tipo de prototipos permite que comunidades universitarias u otros entornos cuenten con fuentes propias de energía, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y ofreciendo alternativas viables en escenarios de alta demanda o falta de infraestructura. (PRIMAGAS, 2024)

4.4 Baterías para Sistemas de Energía Renovable

El almacenamiento de energía es un bloque funcional crítico para la viabilidad del prototipo de carga limpia, ya que la generación mediante pedaleo es por naturaleza intermitente y variable. El componente de almacenamiento es esencial para garantizar que la energía inestable generada por el pedaleo pueda ser utilizada de forma continua y estable, permitiendo al usuario cargar sus dispositivos incluso cuando no está pedaleando. La elección de la tecnología de la batería impacta directamente en la eficiencia, la vida útil y el costo total del sistema.

4.4.1 Plomo-Ácido de Ciclo Profundo (Flooded Lead-Acid). Son la tecnología más económica y probada. Están diseñadas para ser descargadas y recargadas muchas veces (ciclo profundo). Requieren mantenimiento periódico (relleno de agua destilada) y ventilación adecuada. (Wiley, 2020)



Ilustración 1. Baterías de plomo inundadas | Plomo-Ácido de Ciclo Profundo (Flooded Lead-Acid).
Fuente: <https://www.usbattery.com/es/flooded-lead-acid-batteries/>

4.4.2 Plomo-Ácido AGM (Absorbent Glass Mat). Variante sellada sin mantenimiento. El electrolito está absorbido en separadores de fibra de vidrio. Ofrecen baja autodescarga y son más resistentes a la vibración. Populares para sistemas solares por su durabilidad. (Autosolar, 2025)



Ilustración 2. Plomo-Ácido AGM (Absorbent Glass Mat).
Fuente: <https://onlinecolombia.net/articulos/detalles/Bateria-MTEK-12V155A-Bogota>

4.4.3 Plomo-Ácido Gel. Similar a las AGM, pero el electrolito se mezcla con sílice para formar un gel espeso. Son extremadamente resistentes a las descargas profundas y tienen una vida útil muy larga. Operan bien a altas temperaturas y son ideales para aplicaciones de ciclo profundo, aunque su capacidad para suministrar grandes corrientes de pico es limitada. (whc solar, 2025)



Ilustración 3. BATERÍA GEL PLOMO. Plomo-Ácido Gel
Fuente: <https://sylvania-colombia.com/product/bateria-gel/>

4.4.4 Ión de Litio (Li-ion/LiFePO₄). Esta tecnología (particularmente la Fosfato de Hierro y Litio o LiFePO₄) ofrece la mejor combinación de alta densidad de energía, peso ligero y una vida útil extremadamente larga (más de 3,000 ciclos de carga). Aunque su costo inicial es más alto, no requieren mantenimiento y su eficiencia de carga/descarga es superior al 95%. Requieren un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) para su operación segura. (Large Battery, 2025)

Definition and Basic Concept of What is LiFePO₄ Battery



Ilustración 4. batería LiFePO₄ Ión de Litio (Li-ion/LiFePO₄).

Fuente: <https://www.tycorunenergy.com/wp-content/uploads/2025/05/Definition-and-Basic-Concept-of-What-is-LiFePO4-Battery-1024x512.webp>

4.5 Sistemas de Conversión y Regulación de Energía

Este capítulo describe los componentes responsables de acondicionar la energía eléctrica generada por el pedaleo, transformándola de una forma cruda e inestable a una energía eléctrica limpia, estable y segura para el almacenamiento en baterías y posterior uso por los dispositivos electrónicos. Es el núcleo del proceso de conversión, regulación y control del sistema.

(Universidad de Granada, 2025)

4.5.1 Alternadores y Dinamos. Tanto dinamos como alternadores son máquinas eléctricas rotativas que convierten energía mecánica en eléctrica mediante el principio de inducción electromagnética (Ley de Faraday). La diferencia fundamental radica en el tipo de corriente que generan.

Dinamo: Genera Corriente Continua (CC) directamente. Utiliza un conmutador (colector de delgas y escobillas) que actúa como un rectificador mecánico, invirtiendo la polaridad de la

conexión en el momento justo para mantener la corriente en un solo sentido.

Alternador: Genera Corriente Alterna (CA). Emplea anillos rozantes y escobillas para conducir la corriente hacia el circuito externo. Dado que la mayoría de los sistemas electrónicos y de baterías operan en CC, la salida de un alternador debe ser rectificadas posteriormente mediante un puente de diodos.

Tabla 1

Análisis Comparativo para el Contexto del Proyecto

La elección entre ambas tecnologías es fundamental para la eficiencia global del sistema.

Característica	Dinamo	Alternador	Implicación en el Proyecto de Pedaleo
Tipo de Salida	Corriente Continua (CC)	Corriente Alterna (CA)	^a El dinamo se integra más fácilmente con baterías y reguladores, sin necesidad de rectificación adicional. CRÍTICO. El pedaleo humano es un régimen de
Eficiencia a Bajas RPM	Baja. Pierde eficiencia significativamente a bajas velocidades de rotación.	Alta. Están diseñados para generar energía útil incluso a bajas revoluciones.	baja velocidad y par variable. Un alternador es superior para capturar energía en estas condiciones.
Densidad de Potencia	Baja.	Alta.	Importante para la ergonomía y diseño del

	Más pesada y voluminosa para la misma potencia.	Más ligera y compacta.	prototipo. Un alternador permite un sistema más liviano.
Mantenimiento	Alto. Las escobillas y delgas se desgastan y requieren revisión.	Bajo. Sistemas modernos suelen ser sellados o de mayor duración.	Favorece la sostenibilidad y reduce costos operativos a largo plazo.
Costo	Generalmente más bajo.	Ligeramente superior.	La ganancia en eficiencia justifica la inversión inicial.

Nota. Fuente: Fuente Propia

^a Los alternadores generan corriente alterna, mientras que las dinamos producen corriente continua. En sistemas de pedaleo, se prefieren generadores de CC por la simplicidad en la conversión y el menor rizado inicial de la señal.

4.6 Caracterización de Cargas para el Sistema

La caracterización de las cargas es un proceso fundamental en el diseño de cualquier sistema de energía, ya que determina los requisitos de generación, almacenamiento, conversión y distribución. Para este prototipo, las cargas se clasifican en dos categorías principales, basándose en su consumo de potencia, naturaleza de la corriente y perfil de uso. Una caracterización precisa garantiza la eficiencia, seguridad y usabilidad del sistema.

4.6.1 Cargas Electrónicas de Baja Potencia y Características Claves. Estas cargas representan el objetivo principal del prototipo y corresponden a los dispositivos electrónicos personales de uso común en una comunidad universitaria.

Dispositivos Objetivo: Teléfonos inteligentes (Smartphones), Tabletas, Audífonos inalámbricos, Smartwatches, y en algunos casos, Computadores portátiles de baja potencia (ultrabooks).

Rango de Potencia Típico:

Smartphones: 5W a 25W (carga rápida).

Tabletas: 10W a 35W.

Computadores Portátiles (bajo consumo): 30W a 65W.

Características Claves para el Diseño:

Tensión de Operación: La gran mayoría utilizan tensiones de Corriente Continua (CC) en el rango de 5V DC. Los protocolos de carga rápida (Quick Charge, Power Delivery - PD) pueden requerir tensiones negociadas de 9V, 12V o hasta 20V. Esta es una consideración crítica. (Olin Telecom, 2025)

Corriente de Carga: Varía según el dispositivo y el modo de carga. Desde 1A (carga estándar a 5V) hasta 3A o más en modos de carga rápida. (Labster, 2025)

Interfaz de Conexión: El puerto USB-A es común, pero el USB-C se ha convertido en el estándar para dispositivos nuevos y para la entrega de mayores potencias mediante el protocolo USB Power Delivery (PD). (HP, 2024)

Estabilidad de la Energía: Son extremadamente sensibles a las variaciones de tensión y a los picos de corriente. Exigen una energía regulada y estable para evitar daños en sus circuitos internos y baterías de iones de litio. (Grupo Industronic, 2024)

Perfil de Carga: Presentan un perfil de carga variable. Generalmente, la corriente de carga es alta cuando la batería está descargada y disminuye a medida que se acerca a su capacidad total (carga por goteo o "trickle charge"). (fqs battery, 2024)

Tabla 2

TABLA DE CARACTERIZACION DE CARGAS

DISPOSITIVO	VOLTAJE (V) OUTPUT	CORRIENTE (A) OUTPUT	POTENCIA (W)
Celular	9Vdc	1.67A	15.03W
Laptop	19Vdc	3.42A	65.00W
Tablet	5Vdc	2.00A	10.00W
Power Bank	5Vdc	2.10A	10.50W

Fuente: Diseño propio

4.7 Normatividad y Seguridad en Sistemas de Generación de Energía

El diseño y la construcción del prototipo deben regirse por un riguroso marco normativo y de seguridad. Este marco garantiza no solo la integridad física de los usuarios y la protección de los dispositivos conectados, sino también la confiabilidad y la interoperabilidad del sistema. Para este proyecto, se considera una doble vertiente: la normativa aplicable a los sistemas eléctricos

en general y las consideraciones específicas para un sistema de generación humana de baja potencia.

4.7.1 Normatividad Eléctrica y de Seguridad Aplicable. Si bien el prototipo es un sistema aislado de baja potencia, su diseño debe emular los más altos estándares de seguridad, tomando como referencia las siguientes normativas:

Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (Instalaciones Eléctricas para Edificaciones):

Aplicación: Constituye la referencia principal para las prácticas seguras de instalación eléctrica en Colombia. Aunque el prototipo no es una edificación, sus principios son invaluable. (Repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira, 2008)

Criterios de Diseño Derivados: Protección contra Contactos Directos e Indirectos: La carcasa y la estructura deben proveer un grado de protección mínimo de IP21 (protegido contra la penetración de partes del cuerpo y gotas de agua verticales), asegurando que las partes activas no sean accesibles. Las partes metálicas accesibles deben estar conectadas a una tierra física. (S'Arreplec, 2024)

Selección y Calibre de Conductores: Los cables utilizados deben estar dimensionados para soportar la corriente máxima del circuito con un margen de seguridad (generalmente 125%), considerando la caída de tensión y la capacidad de ruptura. (Eléctricos, 2024)

Protecciones contra Sobrecorriente y Cortocircuito: Se deben instalar fusibles o breakers termomagnéticos en puntos estratégicos: a la salida de la batería, a la entrada del inversor y en cada circuito de salida de CC (puertos USB). Esto aísla fallas y previene incendios. (EasySolar, 2025)

Normas Internacionales IEC (International Electrotechnical Commission): IEC 60364 (Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión): Equivalente internacional de la NTC 2050, proporciona directrices adicionales sobre seguridad. (RTL Certifications, 2025)

IEC 62109 (Seguridad de Convertidores de Potencia para Sistemas de Energía Fotovoltaica): Aunque orientada a energía solar, sus principios sobre seguridad en convertidores de potencia (reguladores, inversores) en sistemas de CC son directamente aplicables a este proyecto, especialmente en lo relativo a protecciones y aislamiento. (revista Chone, Ciencia y Tecnología, 2025)

Normas de Seguridad para Dispositivos Móviles y Baterías: Normas UL/EN/IEC 60950 (Seguridad de Equipos de Tecnología de la Información): Esta serie de normas es fundamental para el diseño de los circuitos de salida (puertos USB). Establece requisitos para prevenir riesgos de descarga eléctrica, incendio, sobrecalentamiento y radiación peligrosa. (EUROLAB, 2025)

Normas para Baterías (ej., IEC 62133 para baterías de ion-litio): Es crítico que las baterías utilizadas cumplan con normas de seguridad que aborden riesgos como sobrecarga,

descarga profunda, cortocircuito y estrés térmico, garantizando su operación estable y previniendo fugas o incendios. (Large Battery, 2025)

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El presente proyecto corresponde a un **diseño Analítico-Experimental**, ya que busca desarrollar y validar un prototipo funcional que permita la conversión de energía mecánica en eléctrica para la carga de dispositivos electrónicos. El diseño Analítico se aplica en la construcción del sistema eléctrico y en la verificación de su desempeño bajo condiciones reales de uso; mientras que el enfoque analítico-experimental que permite caracterizar y documentar el funcionamiento de los bloques eléctricos, garantizando su integración coherente y segura.

La ilustración 5 presenta el recorrido completo de la energía dentro del prototipo, desde la generación por pedaleo hasta la entrega final a la carga. Se observan los bloques principales de conversión, protección, regulación, almacenamiento y salida, los cuales organizan el funcionamiento del sistema. Este esquema sirve como referencia para comprender las etapas que se describen a continuación en la sección 5.2.

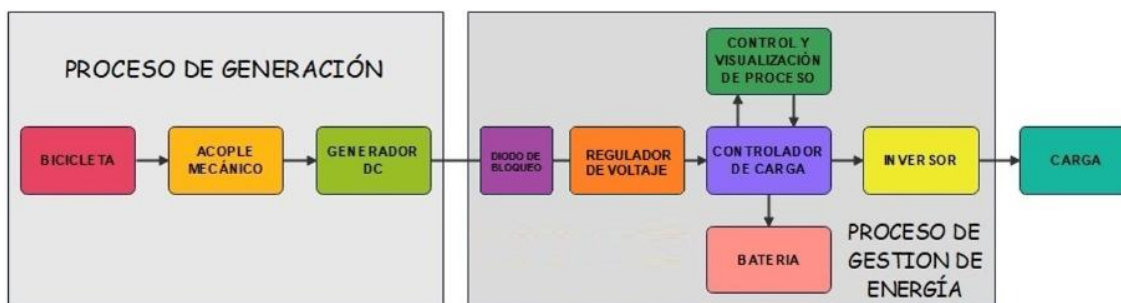


Ilustración 5. Esquema general del subsistema aislado.
Fuente: Elaboración propia

5.2 Método

el proceso analítico permite que el prototipo cumpla con criterios de seguridad, eficiencia y calidad de energía, transformándose luego en un proceso experimental que verifica los resultados en condiciones reales.

El proceso se dividirá en las siguientes etapas:

Análisis del sistema de generación mecánica y eléctrica: El proceso inicia con el análisis del sistema de generación, donde se caracteriza el pedaleo como una fuente de energía mecánica variable. En esta fase se estudian las cadencias típicas (RPM), el esfuerzo que un usuario promedio puede mantener y la potencia mecánica disponible, lo cual permite seleccionar la relación de transmisión adecuada y determinar el tipo de generador más eficiente para convertir ese movimiento en energía eléctrica. Esta etapa es analítica porque implica descomponer el fenómeno del pedaleo en variables físicas y eléctricas cuantificables, asegurando que el

generador opere dentro de rangos compatibles con la electrónica de acondicionamiento que se integrará posteriormente.

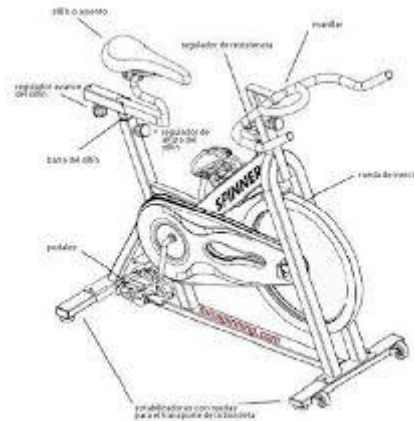


Ilustración 6. Diseño de bicicleta estática

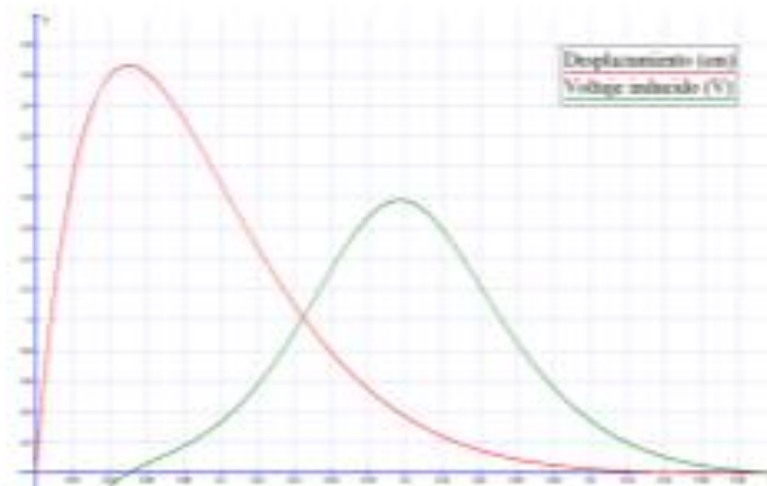
Fuente: Extraído de https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT4PDMKv4PtKYkrGF8RsW0WTX8h79_9RiIs2Q&s

Etapas de rectificación y protección inicial: Una vez calculadas las características eléctricas del generador, se analiza la necesidad de rectificar la señal y proteger el circuito contra corrientes no deseadas. Esto incluye seleccionar el tipo de rectificador o diodos de potencia, estimar el rizado eléctrico, considerar la disipación térmica y asegurar la protección frente a retornos de corriente hacia el generador. Este proceso es analítico porque requiere evaluar la forma de onda generada, sus fluctuaciones naturales derivadas del pedaleo y los parámetros eléctricos que deben estabilizarse antes de ingresar al sistema de regulación, garantizando así un flujo seguro y consistente.

Diseño asistido por software (CAD): El diseño del prototipo también se desarrolló mediante software especializado, utilizando Fusion 360 y AutoCAD para modelar los componentes a

escala real. Con estas herramientas se elaboraron planos 2D y modelos 3D con cotas precisas, ubicando el generador, la batería, el panel de conexiones y los soportes estructurales de manera exacta. Esta fase permitió verificar medidas, corregir interferencias, definir rutas de cableado y documentar especificaciones técnicas antes del ensamble físico. El uso de CAD garantizó un diseño claro, preciso y reproducible, reduciendo errores constructivos y asegurando que el prototipo final correspondiera fielmente al modelo digital.

Regulación de tensión y control de carga: En esta fase se estudia el comportamiento de la energía rectificadora y se seleccionan los reguladores de voltaje y los controladores de carga adecuados según la tecnología de batería. Se analizan los umbrales máximos y mínimos de operación, las curvas de carga (bulk, absorption, float) y las protecciones contra sobrevoltaje, sobrecorriente y descarga profunda. Este paso también es analítico, debido a que el pedaleo genera energía irregular y es indispensable calcular matemáticamente cómo estabilizarla para que la batería procese la energía de manera segura y eficiente, evitando daños en los componentes y prolongando la vida útil del sistema.



Gráfica 3. Desplazamiento de la suspensión (cm vs t) y voltaje inducido en la bobina (V vs t) provocado por el paso de la bicicleta sobre el resalto.

Ilustración 7. Diseño e implementación de un generador eléctrico lineal en la suspensión de bicicletas
 Fuente: Extraído de https://portal.amelica.org/ameli/journal/338/3382577005/3382577005_gf8.png

Almacenamiento energético: El análisis del bloque de almacenamiento consiste en estudiar la demanda energética de los dispositivos objetivo (celulares, tablets, laptops) y compararla con la energía generada y regulada para seleccionar la batería con la capacidad y tecnología más apropiadas. En esta etapa se calculan los amperios-hora requeridos, la profundidad de descarga admisible, la autonomía deseada en periodos sin pedaleo y la eficiencia global del ciclo de almacenamiento. El enfoque analítico es clave porque el rendimiento del sistema depende de un equilibrio entre generación humana variable y una batería capaz de recibir, almacenar y entregar energía estable sin comprometer la seguridad del sistema.

Conversión final e integración del inversor: Posteriormente, se analiza la transformación de la energía almacenada en corriente continua hacia corriente alterna mediante un inversor de onda

senoidal pura, el cual debe garantizar compatibilidad con dispositivos electrónicos sensibles. En esta etapa se estudian las pérdidas por conversión, la potencia máxima entregable, la respuesta ante variaciones de carga y las medidas de protección necesarias en la salida AC. Este paso requiere un análisis detallado, ya que cada parámetro del inversor depende directamente de las condiciones establecidas en las fases previas, asegurando que el sistema entregue una energía final limpia, segura y dentro de los estándares técnicos requeridos.

Ensamble, pruebas experimentales y validación del prototipo: Finalmente, todos los componentes se integran físicamente y se realizan pruebas experimentales con cargas reales, midiendo voltajes, corrientes, eficiencia, autonomía y estabilidad del sistema ante pedaleo continuo e intermitente. También se validan condiciones térmicas, protecciones eléctricas y cumplimiento de normas como la NTC 2050 y la IEC 60364. Esta fase cierra el ciclo del método analítico-experimental, ya que permite contrastar los cálculos teóricos con el desempeño real del prototipo, verificar la coherencia del diseño y obtener evidencia técnica que respalde la funcionalidad del sistema eléctrico desarrollado.

5.3 Población y muestra

La **población objetivo** está constituida por los estudiantes, docentes y personal administrativo de la Institución Universitaria Pascual Bravo que hacen uso frecuente de dispositivos electrónicos en sus actividades académicas.

La **muestra de validación** corresponde a un grupo representativo de usuarios (aproximadamente 20–30 personas), seleccionados de forma intencional en espacios como salas de estudio, biblioteca y cafetería, donde se presenta mayor demanda de carga de dispositivos.

5.4 Instrumentos de recolección de información

5.4.1 Fuentes primarias.

- **Mediciones directas** del prototipo en pruebas experimentales: voltaje, corriente, potencia, autonomía de la batería y eficiencia del sistema.

- **Encuestas a usuarios** que utilicen el prototipo, para recopilar información sobre satisfacción, usabilidad y percepción de sostenibilidad.

- **Observación directa** del funcionamiento en el entorno universitario (tiempo de uso, número de dispositivos conectados, comportamiento del sistema).

5.4.2 Fuentes secundarias.

Literatura académica y técnica relacionada con sistemas de microgeneración, energías renovables y almacenamiento de energía.

Normatividad vigente (RETIE, IEC, IEEE) aplicable a la seguridad eléctrica y la instalación de prototipos experimentales.

Documentos institucionales sobre consumo energético, planes de sostenibilidad y políticas de gestión ambiental en la universidad.

6. Resultados

El desarrollo del sistema eléctrico para el prototipo de carga limpia mediante pedaleo permitió evidenciar la factibilidad de transformar energía mecánica en energía eléctrica estable y segura para la carga de dispositivos electrónicos en un entorno universitario.

Durante la ejecución del proyecto, se lograron resultados en tres niveles principales:

Diseño técnico: integración de los bloques funcionales (generación, rectificación, regulación, almacenamiento, inversión y distribución).

Implementación práctica: construcción del prototipo con componentes dimensionados según los requerimientos de carga.

Validación experimental: pruebas con cargas reales (celulares, tabletas y portátiles) que confirmaron la estabilidad del sistema y su utilidad en el contexto institucional.

A continuación, se presenta el desarrollo correspondiente al primer objetivo específico.

6.1 Desarrollo del primer objetivo específico: Diseño eléctrico del sistema

El diseño eléctrico del sistema de generación de energía a partir de una bicicleta estática se estructuró a partir de dos configuraciones principales: el subsistema conectado a la red y el subsistema aislado. En la Ilustración 8 se presenta el diagrama básico de ambos subsistemas, donde el primero tiene como finalidad la inyección de energía en tiempo real hacia la red eléctrica, mientras que el segundo se orienta al abastecimiento de cargas específicas del campus universitario mediante el almacenamiento en baterías. Esta doble configuración fue planteada con el fin de garantizar flexibilidad y confiabilidad en la operación del prototipo.

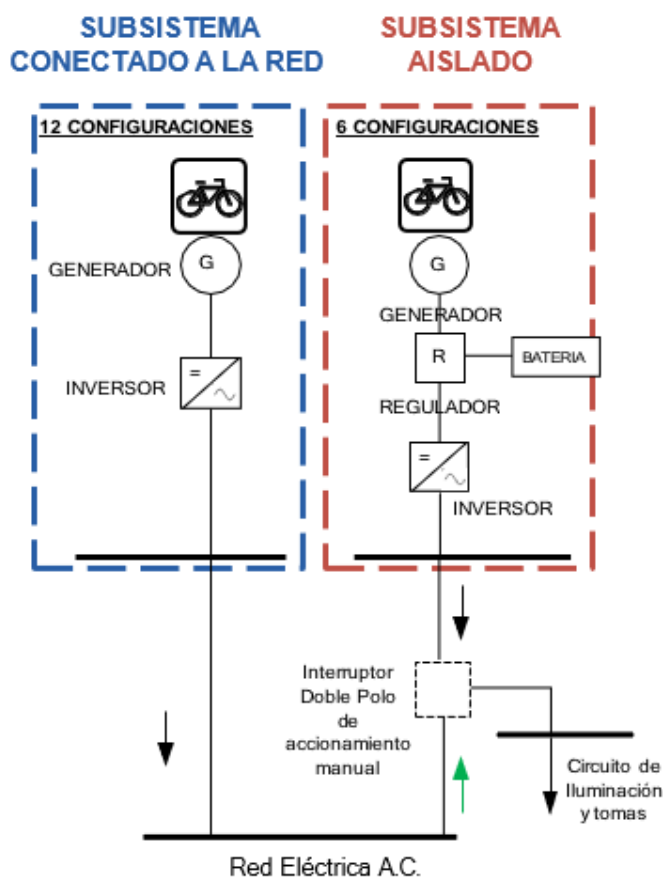


Ilustración 8. Diagrama básico de los dos subsistemas.

El diseño eléctrico del sistema de generación y almacenamiento de energía se consolidó a través de la integración de diversos componentes que garantizan tanto la confiabilidad como la operatividad del prototipo. En la Ilustración 9 se presenta el esquema actualizado del sistema, el cual incorpora elementos de control, protección, almacenamiento y conversión de energía.

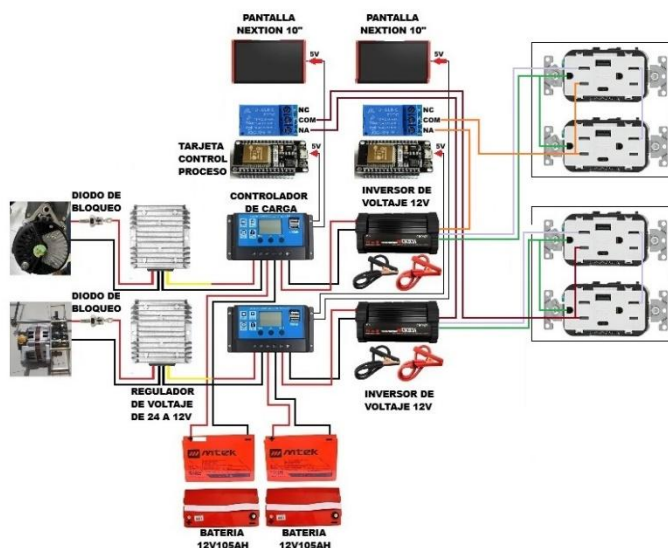


Ilustración 9. Esquema actualizado del sistema eléctrico con integración de almacenamiento, protección y monitoreo

En este esquema se destacan las baterías de 12 V – 105 Ah, que actúan como el principal medio de almacenamiento energético, asegurando autonomía en la operación del subsistema aislado. El sistema cuenta además con reguladores de carga de 24 V a 12 V, que cumplen la función de estabilizar el flujo de energía proveniente de los generadores y proteger las baterías frente a sobrecargas.

Para la conversión de la energía de corriente continua a corriente alterna, el diseño integra dos inversores de voltaje de 12 V, los cuales permiten alimentar directamente los tomacorrientes y la iluminación del recinto. La protección del sistema se refuerza con la instalación de diodos de bloqueo, que evitan el retorno de corriente hacia los generadores, prolongando su vida útil y mejorando la eficiencia del conjunto.

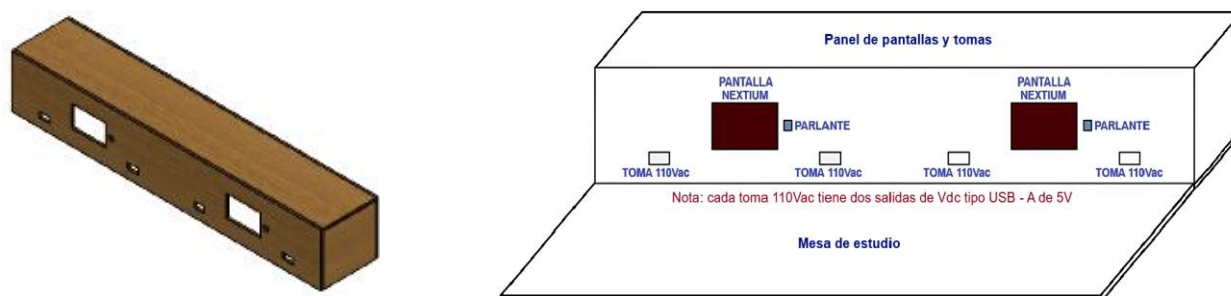


Ilustración 10. Panel de pantallas y tomas. Mesa de estudio
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se incorporó una tarjeta de control de procesos y pantallas Nextion de 10”, que permiten la monitorización en tiempo real de parámetros eléctricos y del estado de carga del sistema. Esta interfaz de usuario facilita la supervisión de las variables críticas y aporta un valor agregado al diseño, al integrar la automatización y el monitoreo visual dentro del sistema eléctrico.

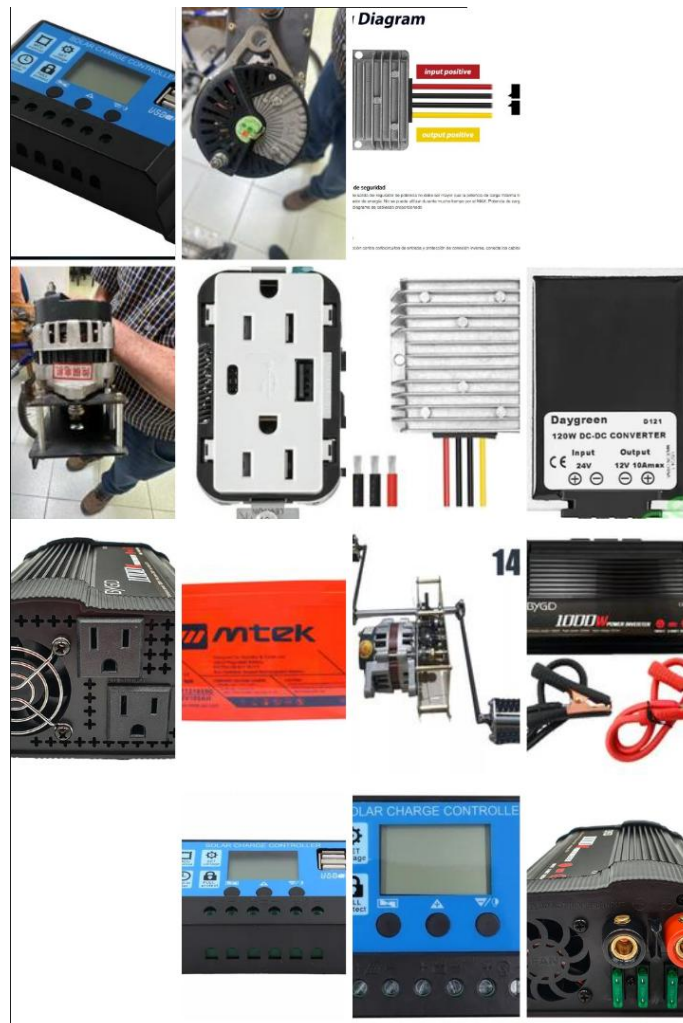


Ilustración 11. Componentes Físicos Principales del Sistema Eléctrico
Fuente: Fuente propia

6.2 construcción del sistema eléctrico para el prototipo de pedaleo

La fase de construcción inicia con la preparación de la estructura base para la generación de energía y el soporte de los elementos de carga. El primer paso crucial es la fijación estable de la bicicleta estática o del sistema de pedaleo al rodillo generador (dinamo/alternador) para asegurar la máxima transferencia de potencia. Acto seguido, y como punto central de la integración

visualizada en la ilustración 12, se procede a la modificación del mobiliario de usuario: se realiza la perforación estratégica a la mesa o tablero de trabajo. Esta perforación es indispensable para la entrada o salida de la tubería EMT (Eléctrica Metálica Tubo), cuya función es proteger y canalizar los conductores de manera segura y ordenada desde el punto de generación hacia la unidad de control central.

Una vez preparada la estructura, se procede a la instalación y cableado del sistema eléctrico central. En este paso, se fija el gabinete de control donde se alojarán los equipos principales: el Controlador de Carga MPPT, el Banco de Baterías (acumulador) y el Inversor de Corriente. Es fundamental que el cableado de conexión entre estos componentes se realice con los calibres y protecciones (fusibles, breakers) definidos en la sección 6.1, respetando la polaridad y las normas de seguridad eléctrica. La tubería EMT previamente instalada se utiliza para enrutar las líneas principales, primero desde el generador de la bicicleta hasta la entrada del controlador de carga, y luego, desde la salida del inversor hacia los puntos de consumo en la mesa.

Finalmente, se enfoca en la interfaz directa con el usuario y la accesibilidad al sistema. Se instalan los cascos de los tomacorrientes en la superficie de la mesa, adoptando una posición específica y estratégica que garantice el fácil acceso al cableado interno. Este diseño facilita las tareas de mantenimiento, inspección y futura ampliación sin comprometer la seguridad ni la estética. Se conecta la línea de corriente alterna (AC) proveniente del inversor a las regletas de estos tomacorrientes. De manera complementaria, se integran los puertos de carga de corriente directa (DC), como los módulos USB, conectándolos directamente al banco de baterías (usando

convertidores DC/DC si es necesario), asegurando que ambos tipos de energía (AC y DC) estén disponibles para el usuario final.



Ilustración 12. Proceso de Ensamble Físico: Detalle de la Perforación de la Mesa e Instalación de Tubería EMT y Cascos de Tomacorrientes.

Fuente: Fuente propia.

6.3 Pruebas y Análisis de la Potencia de Generación Bruta

El protocolo de prueba se centró en medir la salida eléctrica bruta del Generador AC, capturando nueve pares de valores de Voltaje (V_{ac}) y Corriente (I_{ac}) en puntos aleatorios de un

ciclo de pedaleo. Esta medición directa confirmó que el generador trabaja en un rango de bajo voltaje, típicamente alrededor de 7 (V), lo cual es característico de los dinamos o alternadores antes de ser gestionados por cualquier componente de rectificación o elevación. La Corriente Alterna (I_{ac}) fue consistentemente baja, fluctuando cerca de 0.14 (A) en todos los ensayos.

La Potencia de Generación Bruta fue calculada para cada ensayo. El valor máximo registrado, y, por lo tanto, la potencia eléctrica más alta que el usuario pudo entregar al sistema, fue de solo 1.002 W (Ensayo 5). Este resultado es fundamental para la validación del diseño. Se observa que la potencia de generación instantánea es extremadamente baja, evidenciando que el prototipo no puede depender de la potencia inmediata de pedaleo para suministrar energía a cargas de alta demanda. La estabilidad en las mediciones de voltaje y corriente, a pesar de la aleatoriedad, sugiere que el generador opera con una carga eléctrica muy baja, probablemente solo la asociada al circuito de monitoreo.

Tabla 3

Tabla de Mediciones de Salida del Generador AC

Ensayo	Vac Voltaje (v)	Iac Corriente (A)	Potencia Aparente ($S=V*I$)(Va)	Factor de Potencia (FP)	Potencia de Generación Bruta (P) (W)
1	7	0.138	0.966	1	0.966
2	7.16	0.137	0.981	1	0.981
3	6.93	0.141	0.977	1	0.977

4	6.98	0.142	0.991	1	0.991
5	7.21	0.139	1.002	1	1.002
6	7.12	0.139	0.989	1	0.989
7	7.1	0.14	0.994	1	0.994
8	7.07	0.139	0.983	1	0.983
9	6.97	0.141	0.983	1	0.983

Nota. Fuente: Fuente Propia

Este análisis resuelve el tercer objetivo específico, demostrando que la arquitectura del sistema es correcta. La generación de 1.002 (W) es insuficiente para el motor de 500 (W), lo que confirma que la función principal de este subsistema es actuar como una fuente de carga de mantenimiento para el Banco de Baterías. Por lo tanto, el objetivo de alimentar el motor de 500 (W) se cumple mediante la entrega de energía almacenada por las baterías a través del inversor, validando que el prototipo es un sistema de acumulación asistido por pedaleo diseñado para mitigar la baja y fluctuante capacidad de generación humana con la alta demanda de los aparatos eléctricos.

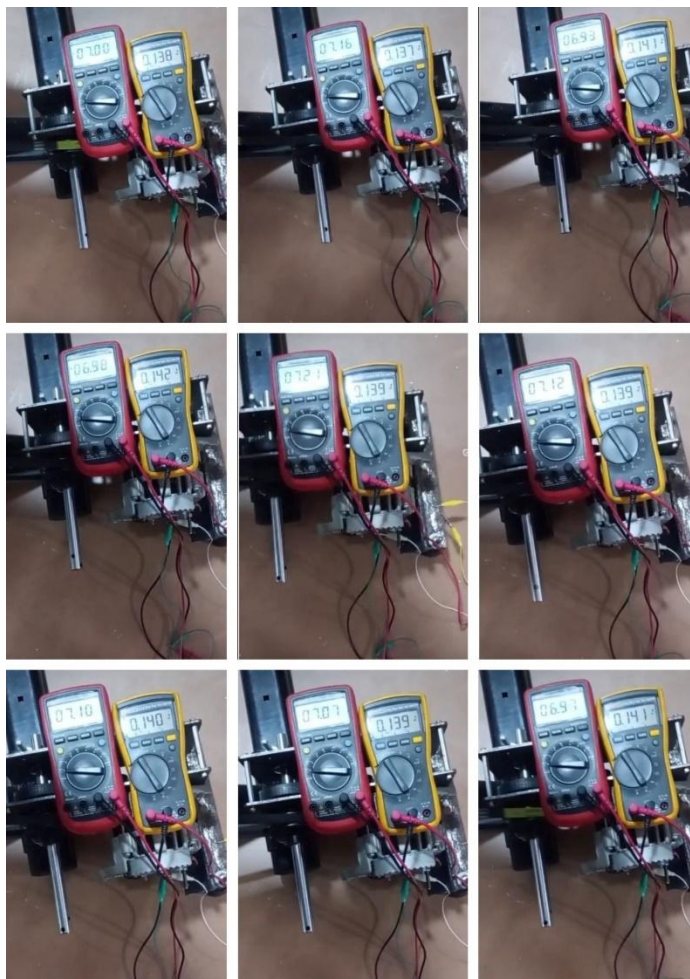


Ilustración 13. Puntos de Medición del Rendimiento del Generador AC.
Fuente: Fuente propia

7. Conclusiones

El diagnóstico realizado en la Institución Universitaria Pascual Bravo permitió confirmar la problemática de alta demanda y dependencia de la red eléctrica convencional para la carga de dispositivos electrónicos, lo que valida la pertinencia del desarrollo de soluciones autónomas y sostenibles como el prototipo propuesto.

La revisión bibliográfica y técnica evidenció que la microgeneración por pedaleo es una

alternativa viable y ya explorada en distintos contextos, pero que requiere un diseño eléctrico integral con regulación, almacenamiento y conversión adecuada para garantizar compatibilidad con cargas sensibles como portátiles y equipos electrónicos modernos.

El diseño del sistema eléctrico, organizado en bloques funcionales (generador, rectificación, regulación, almacenamiento, inversión y distribución), permitió estructurar una arquitectura confiable que asegura la transformación de la energía mecánica en energía utilizable, con parámetros de salida estables (125 Vca y 5 Vcc).

El dimensionamiento de los componentes (generador, controlador de carga, batería de ciclo profundo, inversor senoidal puro) demostró ser apropiado para cargas típicas de la comunidad universitaria, garantizando autonomía mínima y operación segura bajo condiciones de uso real.

La construcción e integración del prototipo confirmaron que es posible obtener un sistema funcional de carga limpia, con protecciones adecuadas (fusibles, polaridad, retorno de corriente, puesta a tierra) y con visualización en tiempo real de las variables eléctricas, lo que aporta valor pedagógico y práctico.

La validación experimental mostró que el sistema alcanza eficiencias globales aceptables (65–70 %), con autonomía suficiente para suplir lapsos de pedaleo intermitente, y con un alto nivel de aceptación por parte de los usuarios, quienes reconocen tanto la utilidad como el aporte ambiental de la iniciativa.

Se concluye que el prototipo no solo constituye una solución tecnológica innovadora, sino que además promueve hábitos saludables mediante la actividad física y fortalece la conciencia ambiental dentro del campus. Su escalabilidad hacia gimnasios, bibliotecas y espacios públicos refuerza su viabilidad social y ambiental, con posibilidades de mejora técnica como el acoplamiento a fuentes fotovoltaicas.

Finalmente, este trabajo evidencia que la integración de energías renovables en entornos universitarios no solo responde a necesidades prácticas de infraestructura, sino que también enriquece la formación académica, convirtiéndose en una plataforma didáctica para el aprendizaje en áreas de energía, electrónica de potencia y sostenibilidad.

8 Recomendaciones

Optimización del diseño eléctrico: se sugiere evaluar mejoras en la eficiencia del sistema mediante el uso de controladores de carga inteligentes con algoritmos MPPT (Maximum Power Point Tracking), lo que permitiría aprovechar de manera más eficiente la energía generada en el pedaleo.

Ampliación de la capacidad de almacenamiento: para extender la autonomía del prototipo, se recomienda integrar baterías de mayor capacidad o combinar tecnologías (p. ej., litio-ferrofosfato), siempre bajo criterios de seguridad y normatividad.

Escalabilidad del prototipo: considerar la implementación de módulos adicionales de generación y almacenamiento que permitan atender un mayor número de dispositivos de manera simultánea, especialmente en espacios de alta afluencia como bibliotecas y cafeterías.

Complemento con otras fuentes renovables: integrar paneles fotovoltaicos u otras tecnologías de generación limpia como respaldo, con el fin de garantizar continuidad energética cuando no sea posible mantener el pedaleo.

Mantenimiento preventivo y correctivo: establecer protocolos periódicos para verificar el estado de conexiones, protecciones, batería e inversor, con el fin de garantizar la seguridad y durabilidad del sistema.

Monitoreo y análisis de desempeño: incorporar un sistema de registro de datos (data logging) que permita analizar de forma detallada los indicadores de eficiencia, autonomía y uso, con el objetivo de retroalimentar mejoras futuras.

Sensibilización y pedagogía: aprovechar la instalación del prototipo como herramienta educativa para estudiantes y docentes en temas de energías renovables, electrónica de potencia y sostenibilidad ambiental, integrando actividades académicas y de investigación.

Evaluación económica y social: realizar estudios comparativos de costo-beneficio y análisis de impacto ambiental para justificar futuras inversiones institucionales en la replicación del

sistema.

Cumplimiento normativo: garantizar que todas las implementaciones posteriores cumplan con los estándares del RETIE y normativas internacionales IEC/IEEE, asegurando condiciones de seguridad eléctrica adecuadas para los usuarios.

9 Referencias bibliográficas

Arteaga Restrepo, Y. L., Fontalvo Argumedo, M. E., & Holguín Ortiz, L. F. (Abril de 2023).

Requerimientos para un sistema de transformación de energía cinética a ... Obtenido de <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/5b254519-b0ed-441c-8b38-ee529c118c55/content>

Iturbe Hernández, V. (Marzo de 2024). *Tecnológico Nacional de México* . Obtenido de

<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/8209/1/Tesis%20-%20Victor%20Iturbide%20Hern%C3%A1ndez.pdf>

Lazaroiu, A. C., & Panait, C. (2024). Maximizar la integración de energías renovables y almacenamiento en los campus universitarios. *ScienceDirect*, 25. Obtenido de

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014812400939X?utm_source

Rojas Forero , D. A. (Abril de 2023). *Universidad Distrital Francisco José De Caldas* . Obtenido de Universidad Distrital Francisco José De Caldas :

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/f067976b-ef58-417e-acb2-165511098032/content>

Tuğçe, Y., Burak , K., & Şener , A. E. (19 de Junio de 2025). *Universidad de Cornell*. Obtenido de Universidad de Cornell: https://arxiv.org/abs/2506.16423?utm_source

Universidad La Gran Colombia. (1 de Diciembre de 2018). *norma ntc 2050*. Obtenido de www.ugc.edu.co

Ali, S. (s.f.). *Principios SOLID y su impacto en la calidad del software*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/>

International Electrotechnical Commission – IEC. (2017). *IEC 60364-1: Low-voltage electrical installations*. Ginebra: IEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2013). *RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Bogotá: ICONTEC.

Khan, M., & Iqbal, M. (2018). Design and development of pedal powered electricity generator. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(2), 901-908.

López, D., & Hernández, J. (2019). Implementación de un sistema de generación eléctrica mediante bicicleta para entornos académicos. *Revista Colombiana de Energía*, 7(1), 45-56.

Ramachandrappa, S. (2024). *Software Engineering Principles for Sustainable Systems*. Bangalore: Springer.

Sáenz, P., & Gómez, R. (2020). Diseño de un sistema de generación híbrido (solar-pedal) para aplicaciones comunitarias. *Revista Latinoamericana de Energía Renovable y Sostenibilidad*, 12(3), 55-70.

Sánchez, L., & Torres, M. (2021). Estudio comparativo de inversores de onda modificada y onda pura en sistemas autónomos. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(2), 111-128.

World Energy Council. (2020). *World Energy Resources Report 2020*. Londres: WEC.

10. Bibliografía

Arduino. (2022). *Datasheet Arduino UNO R3*. Recuperado de <https://store.arduino.cc/>

Battery Council International. (2019). *Deep Cycle Battery Information & Technical Manual*. Chicago: BCI.

EPEVER. (2021). *Solar Charge Controller Tracer Series – User Manual*. Beijing: EPEVER Technologies.

IEEE Standards Association. (2016). *IEEE Std 519-2014 – IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. New York: IEEE.

International Electrotechnical Commission – IEC. (2019). *IEC 62109-1: Safety of power converters for use in photovoltaic power systems*. Ginebra: IEC.

Nextion. (2021). *Intelligent Series HMI Display – User Guide*. Recuperado de <https://nextion.tech/>

Schneider Electric. (2020). *Manual técnico de inversores de onda senoidal pura EasySolar*. Bogotá: Schneider Electric.

Troels, M. (2018). *Small Scale Renewable Energy Systems: Pedal, Solar and Hybrid Applications*. Copenhagen: Technical University of Denmark Press.

Victron Energy. (2020). *Inverter/Charger Phoenix Series – Technical Datasheet*. Ámsterdam: Victron Energy.

Son otras fuentes de información que no se usaron textualmente en el informe, pero están relacionadas con la temática del trabajo y pueden ser tenidas en cuenta por el lector para profundizar en el tema.

Diferencia clave:

En **Referencias** (ítem 9) incluimos **artículos académicos y normas principales** usadas directamente.

En **Bibliografía** (ítem 10) listamos **manuales técnicos, datasheets y guías de fabricantes** que complementan la implementación práctica, aunque no todos se hayan citado de manera explícita en el texto.

Anexo B. *Plano pictórico 3D*

