

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un sistema fotovoltaico inteligente con telemetría para
autosuficiencia energética del CIDIS-ESPOL

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Brian Steven Aguilar León

Carlos Eduardo Zambrano Ramos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico con todo mi corazón a quienes me apoyaron en el transcurso de mi formación académica y me han enseñado a perseguir mis sueños. En primer lugar, a mi querida familia; ellos que han sido mi motor para culminar mis estudios, dándome ánimos para continuar y nunca rendirme pese a los tropiezos que he dado. A mis gatas Quinn y Didi, que me acompañaron en mis noches de desvelo. De igual manera, dedico mi proyecto de grado a mi enamorada Milena, quien cayó del cielo para brindarme su amor y apoyo emocional, ella que llegó en un momento crítico de mi vida. Ella, que ha estado aquí incondicionalmente.

Brian Aguilar León.

Dedico este triunfo a la memoria de mi amado hijo, Carlitos Francisco, cuya presencia celestial ha guiado mi camino de manera constante. De igual manera, va dirigido a mi leal esposa, Julissa Paredes, cuyo amor, paciencia y apoyo incansable fueron el sustento que me permitió convertir este sueño en una meta cumplida. Y lo dedico también con todo mi corazón a mi preciosa hija, Iris Francesca, quien es mi inspiración diaria y el futuro por el que lucho cada día.

Carlos Zambrano Ramos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por haberme dado salud, fortaleza y sabiduría necesaria para seguir por el buen camino. Este logro no se habría conseguido sin su guía y sus bendiciones. Gracias a mi familia, quienes me enseñaron que nunca debo rendirme pese a las dificultades que encuentre en mi camino; ellos han sido un pilar fundamental para mi formación. Expreso también mi agradecimiento a los profesores que me ayudaron con mi formación y me brindaron sus valiosas enseñanzas, no solo por sus conocimientos técnicos, sino también sus valores, que durarán en toda mi vida profesional. Y, de manera especial, agradezco a mi novia Milena, por su apoyo, comprensión y compañía a lo largo de este camino.

Brian Aguilar León.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos, primeramente a Dios por ser mi guía y fortaleza en cada paso; a mis amados padres, Adolfo y María, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su apoyo inquebrantable y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado de la perseverancia; a mis hermanas, Lidia, Kenny y María José, por estar siempre a mi lado, brindándome su alegría y apoyo incondicional en los momentos cruciales; y, por supuesto, a todos mis seres queridos y allegados que contribuyeron con su invaluable granito de arena para hacer posible este sueño, porque este logro no sería mío sin ser también profundamente de todos ustedes.

Carlos Zambrano Ramos

Deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento al Ph.D. Efrén Herrera Muentes, profesor de la materia integradora, por su dedicación, guía académica y aportes fundamentales que enriquecieron el desarrollo de esta tesis.

Los autores.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Brian Steven Aguilar León y Carlos Eduardo Zambrano Ramos y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Brian Aguilar León



Carlos Zambrano Ramos

EVALUADORES

.....
PhD Efrén Herrera

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Mgtr. Daniel Cevallos

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Se presenta el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con almacenamiento y telemetría para el CIDIS-ESPOL, motivado por la crisis energética de 2024, con el fin de reducir la dependencia de la red, asegurar la continuidad de cargas críticas y optimizar la gestión energética mediante monitoreo inteligente con Cerbo GX MK2 y plataformas VRM/VictronConnect.

El desarrollo contempló el dimensionamiento y la reconfiguración del generador a un arreglo 3S3P de nueve paneles, la integración de un controlador Victron MPPT 150/45, inversor Victron, banco de tres baterías de gel de 12 V en paralelo (≈ 600 Ah), protecciones y tablero; además, se implementó adquisición de datos y telemetría para registrar variables DC/AC y habilitar supervisión local y remota. En las pruebas (15–21 de agosto) la corriente de carga alcanzó 45 A, la autonomía del banco fue de $\sim 3,5$ h y la eficiencia global llegó al 88%; el sistema emitió alertas y mantuvo historial, aportando trazabilidad operativa. El ahorro estimado fue ≈ 30 USD/mes; la inversión total ascendió a 9 050,50 USD, con VAN de $-5\,157$ USD y TIR de 0,4%, por lo que la rentabilidad estrictamente financiera resulta limitada.

La principal conclusión es que el sistema sí cumple su objetivo de continuidad y resiliencia energética, a pesar de que la configuración de 12 V restringe el desempeño económico, el valor agregado que justifica y habilita futuras ampliaciones de dicha restricción está en la seguridad operativa, sostenibilidad y uso académico.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico; Telemetría; Cerbo GX MK2; Autosuficiencia energética; Monitoreo remoto

ABSTRACT

This work reports the design and implementation of a photovoltaic system with energy storage and telemetry at CIDIS-ESPOL, prompted by Ecuador's 2024 power crisis, aiming to reduce grid dependence, guarantee critical-load continuity, and optimize energy management through smart monitoring (Cerbo GX MK2, VRM/VictronConnect). The project was executed by resizing and reconfiguring the generator to a 3S3P array (nine modules) and integrating a Victron MPPT 150/45 charge controller, a Victron inverter, a 12 V gel battery bank (three units in parallel, ≈ 600 Ah), protections, and a wiring board; data acquisition and telemetry were implemented to log DC/AC variables and enable local and remote supervision. During tests (August 15–21), charging current reached 45 A, battery autonomy was ~ 3.5 h, and overall efficiency achieved 88%; the platform issued automatic alerts and kept full historical records, improving operational traceability. The estimated saving was about USD 30/month; total investment was USD 9,050.50 with NPV –USD 5,157 and IRR 0.4%, indicating limited financial profitability alone. It is concluded that the system meets its continuity and resilience goals; despite 12 V configuration constraints on financial performance, added value in operational security, sustainability, and academic use justifies the solution and enables future expansions.

Keywords: *Photovoltaic system; Telemetry; Cerbo GX MK2; Energy self-sufficiency; Remote monitoring.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
CAPÍTULO 1	13
1. Introducción	13
1.1 Descripción del problema	14
1.2 Justificación del problema	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Marco teórico	15
1.4.1 Energía solar fotovoltaica	16
1.4.2 Componentes principales de un sistema fotovoltaico	17
1.4.3 Sistemas de monitoreo y telemetría en energía solar.	22
1.4.4 Sistemas integrados de adquisición y monitoreo energético basados en Cerbo GX MK2	24
1.4.5 Plataformas de visualización remota y supervisión SCADA en ecosistema Victron	24
CAPÍTULO 2	26
2. Metodología	26
2.1 Identificación del problema y planteamiento de soluciones	26
2.1.1 Diagnóstico de la dependencia energética del CIDIS	26

2.1.2	Alternativas evaluadas	26
2.1.3	Justificación de la solución seleccionada.....	27
2.2	Metodología de diseño empleada.....	27
2.2.1	Enfoque general de diseño tecnológico	27
2.2.2	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	27
2.2.3	Etapas del diseño.....	30
2.2.4	Herramientas y referencias normativas utilizadas.	31
2.3	Diseño conceptual del sistema	32
2.3.1	Primera propuesta de configuración	32
2.3.2	Reconfiguración final del sistema fotovoltaico.	33
2.4	Implementación del sistema fotovoltaico.	33
2.4.1	Integración de paneles, baterías, controlador MPPT, Cerbo GX MK2 e Inversor	33
2.5	Sistema de telemetría y monitoreo	36
2.5.1	Variables eléctricas monitoreadas	36
2.5.2	Comunicación y visualización remota de datos.	37
CAPÍTULO 3.....		38
3.	Resultados y Análisis.....	38
3.1	Introducción.....	38
3.2	Generación de energía	38
3.3	Autonomía y respuesta ante cortes de energía	39
3.4	Eficiencia del Sistema de Almacenamiento y Conversión	41
3.5	Funcionamiento del Sistema de Monitoreo y Telemetría.....	42
3.6	Proyección de Datos y Predicción Solar mediante VRM	43
3.7	Proyección de Energía Solar y Ahorro Económico Estimado.....	44
3.8	Análisis de Costos y Viabilidad Económica.	45

CAPÍTULO 4.....	47
4. Conclusiones Y Recomendaciones	47
4.1 Conclusiones.....	47
4.2 Recomendaciones.....	49
BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ESTRUCTURA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO: CELDA SOLAR, MÓDULO Y ARREGLO DE PANELES	17
FIGURA 2 INVERSOR MULTIPUS COMPACT MARCA VICTRON	18
FIGURA 3 CONTROLADOR O REGULADOR DE CARGA MPPT MARCA VICTRON	19
FIGURA 4 CERBO GX MK2 MARCA VICTRON	19
FIGURA 5 BATERÍA SOLAR	20
FIGURA 6 CONEXIÓN DE BATERÍAS EN SERIE	20
FIGURA 7 CONEXIÓN DE BATERÍAS EN PARALELO	21
FIGURA 8 DE IZQUIERDA A DERECHA: FUSIBLE Y DISYUNTOR	21
FIGURA 9 ESQUEMA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO	22
FIGURA 10 TELEMETRÍA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE CERBO GX Y VRM.....	23
FIGURA 11 INTERFAZ DEL VRM (VICTRON REMOTE MANAGEMENT)	25
FIGURA 12 INTERFAZ DEL VICTRONCONNECT.....	25
FIGURA 13 PRIMER CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	32
FIGURA 14 CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	33
FIGURA 15 MONTAJE DE LOS PANELES SOLARES	34
FIGURA 16 CONECTORES MC4 Y PANELES CONECTADOS.....	34
FIGURA 17 TABLERO DE CONEXIONES	35
FIGURA 18 INVERSOR VICTRON Y TABLERO DE CONEXIONES.....	36
FIGURA 19 CONEXIÓN DEL CERBO GX MK2 A INTERNET MEDIANTE CABLE ETHERNET.....	37
FIGURA 20 DATOS DE INSTALACIÓN: SOLAR.....	39
FIGURA 21 DATOS DE INSTALACIÓN: CONSUMO	40
FIGURA 22 DATOS DE INSTALACIÓN: RESUMEN DEL SISTEMA.....	41
FIGURA 23 CONSOLA REMOTA. MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA	42
FIGURA 24 REGISTRO DE ALARMAS	43
FIGURA 25 GRÁFICA DE PROYECCIONES SOLAR Y DE CONSUMO.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 . CARGAS CRÍTICAS.....	28
TABLA 2 . PLIEGO TARIFARIO DE CNEL.....	44
TABLA 3 . EQUIPOS UTILIZADOS.....	45

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La crisis energética que se vivió en Ecuador en el transcurso del año 2024 puso en evidencia clara las profundas debilidades estructurales del sistema eléctrico nacional, afectando más a los sectores críticos como la formación superior y el área de investigación científica (Moncada, 2024). El Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales (CIDIS) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) sufrió cortes de energía programados que hizo que interrumpa de manera significativa sus actividades de investigación (apagonecuador, 2024).

Frente a este problema, se torna imprescindible implementar soluciones energéticas que sean sostenibles, autónomas y resilientes, capaces de certificar la operación ininterrumpida de centros de investigación. El CIDIS encarna un nodo estratégico para la generación de conocimiento científico, por lo que resulta no conveniente que sus actividades se vean comprometidas por causas externas como la inestabilidad de la red eléctrica pública.

Dado brevemente el contexto, se presenta la propuesta de implementar un sistema fotovoltaico con almacenamiento y monitoreo inteligente, este sistema debe ser capaz de cubrir en la medida de lo posible la demanda energética del CIDIS y así asegurar su continuo funcionamiento durante algún corte imprevisto de energía. Este sistema está formado por componentes tales como paneles solares, inversor, baterías, controlador o regulador de carga, protecciones y un equipo especial de monitoreo para supervisión remota de las variables eléctricas como voltaje, corriente y potencia tanto en corriente alterna como directa e incluso el estado de carga de las baterías. Con esta solución lo que se busca es priorizar la energía proveniente del sol ante la energía convencional, de igual manera optimizar su gestión y generar alertas o diagnósticos preventivos para así mantener la estabilidad operativa.

Este trabajo se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” (Naciones Unidas, 2023). Su carácter pionero en contexto universitario ecuatoriano, lo convierte en una

propuesta de alto valor estratégico y formativo con un impacto directo a la sostenibilidad operativa del CIDIS y en la formación práctica de futuros ingenieros.

1.1 Descripción del problema

Los cortes de energía que se registraron en Ecuador durante el año 2024 han dejado en clara evidencia la total dependencia del CIDIS-ESPOL a la red eléctrica, lo cual lo expone a posibles fallos operativos que comprometen la continuidad de sus actividades científicas y tecnológicas (Moncada, 2024). Al ser un centro de investigación científica y tecnológica, este no se puede permitir tener interrupciones que comprometan la integridad de sus procesos, equipos y datos que son para fines investigativos. La dependencia en su totalidad a la red limita la capacidad de respuesta, ralentiza las actividades y por ende afecta al consumo energético. Por lo que es menester implementar un sistema fotovoltaico que permita reducir esa dependencia, que garantice continuidad eléctrica y optimice el uso de la energía dentro de sus instalaciones.

1.2 Justificación del problema

La crisis energética vivida en Ecuador en 2024 evidencia la vulnerabilidad de instituciones como el CIDIS-ESPOL ante cortes de energía. Al ser un centro de investigación tecnológica, la continuidad eléctrica es esencial para proteger sus equipos, procesos experimentales y datos científicos. Para reducir su dependencia de la red, se propone un sistema fotovoltaico con almacenamiento que garantice autosuficiencia energética y estabilidad operativa. Este sistema contará con un equipo especial llamado Cerbo GX MK2, que permitirá visualizar todo el sistema a distancia: desde cuánta energía se produce y se consume, hasta el estado de las baterías. La implementación del sistema de adquisición de datos junto con la telemetría hará que sea más fácil tomar decisiones en tiempo real y también ayudará a administrar mejor el uso de la energía solar. Además, esta solución no solo responde a los problemas de energía de pasado y de la actualidad, sino que también deja al centro preparado para enfrentar posibles fallas eléctricas en el futuro. De esta manera, se busca fomentar un modelo que sea más resiliente, sostenible y que se pueda aplicar en otros espacios similares.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico con almacenamiento y monitorización inteligente mediante telemetría de variables eléctricas, con el fin de reducir la dependencia del CIDIS-ESPOL de la red eléctrica convencional, garantizar la continuidad de sus actividades investigativas y optimizar su gestión energética.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las cargas energéticas críticas del CIDIS-ESPOL mediante un estudio de consumo eléctrico, para establecer los requerimientos del sistema.
- Seleccionar e instalar los componentes del sistema fotovoltaico (paneles, inversor, baterías, protecciones) considerando criterios técnicos y normativos, para garantizar eficiencia y seguridad
- Implementar e integrar mediante el Cerbo GX MK2 un sistema de adquisición de datos y monitoreo remoto en tiempo real de las variables eléctricas del proyecto tanto en AC como DC.

1.4 Marco teórico

Desde tiempos inmemoriales, el hombre, tales como los egipcios y griegos han sabido reconocer que el Sol es una fuente de energía, para la cual aprovechaban la luz solar (calor) para calentar el agua o secar sus alimentos. Se dice que no fue hasta el siglo 19 cuando recién empezaron los estudios y avances científicos donde transformaban la luz solar en electricidad. Aproximadamente por el año 1873, el ingeniero eléctrico, Willoughby Smith descubrió la fotoconductividad del semiconductor Selenio, poco tiempo después, el profesor de filosofía William Adams junto con su alumno Richard Day demostraron el efecto fotoeléctrico. En 1883, el inventor estadounidense, Charles Fritts, fabricó una celda o también conocida como célula solar totalmente funcional donde recubría al Selenio con oro, Werner von Siemens, un inventor pionero en la electrotecnia e industrial, reconoció este hecho y para lo cual lo publicó bajo el nombre de conversión directa de la luz en electricidad (Puig & Jofra, 2025). Durante toda la época y hasta la fecha, la ciencia y tecnología fotovoltaica ha ido evolucionando, destacando por ser una fuente renovable, de mínimo impacto ambiental y por supuesto, con capacidad de generar

autonomía energética. En este sentido, este tipo de energía, se consolida como una solución totalmente viable y clave para enfrentar problemas como la crisis vivida en Ecuador en 2024, donde la necesidad de sistemas sostenibles y resilientes se vuelve cada más urgente (Moncada, 2024)

1.4.1 Energía solar fotovoltaica.

El primer concepto a abordar es la energía solar fotovoltaica; este tipo de energía aprovecha la radiación del sol a través del efecto fotovoltaico que, mediante el uso de las células semiconductoras transforma los fotones de la radiación en corriente eléctrica continua (DC). La energía solar fotovoltaica se ha establecido a nivel mundial como una opción bastante limpia y renovable, haciendo énfasis en regiones donde existe una alta radiación solar, como es en el caso de la ciudad de Guayaquil, donde según el Ph.D. Franklin Ormaza, oceanógrafo y docente investigador de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), “La radiación solar es una constante de 1.365 W/m^2 en la atmósfera superior, pero su llegada a la superficie terrestre depende de la cantidad de partículas en suspensión y la humedad atmosférica” (FIMCM, 2025).

Se tiene registros a nivel nacional, donde la Universidad Técnica Particular de Loja evaluó un tipo de los sistemas fotovoltaicos que es el interconectado a la red, se analizó el impacto económico en diversas localidades, donde llegaron a la conclusión que la energía solar es viable ya sea en lo residencial como en lo industrial (Correa & Febres, 2019). En Guayaquil se desarrolló un proyecto de tipo off grid, este representa una variante al implementado de la UTPL, ya que no se conecta a la red eléctrica, lo que permite eliminar generadores diésel y demostrando viabilidad técnica y social (Tumbaco & Pantaleón, 2023)

En Turquía, se elaboró un modelo termodinámico de un sistema híbrido de calentamiento solar para el cultivo de plantas, donde se requiere protegerlas del clima mientras se regula la temperatura y la humedad, para el desarrollo se utilizó Matlab/Simulink donde simularon un dispositivo de absorción de radiación solar y la convertía en calor para calentar el agua, técnicamente es un colector solar térmico integrado y almacenamiento de agua, al hacerlo y terminarlo, los autores, concluyeron que reemplazar sistemas de combustibles fósiles, por este sistema híbrido era factible tanto económico como

ambiental, ya que representaba una disminución notoria en la emisión de gases de efecto invernadero (Kıyan et al., 2023).

1.4.2 Componentes principales de un sistema fotovoltaico.

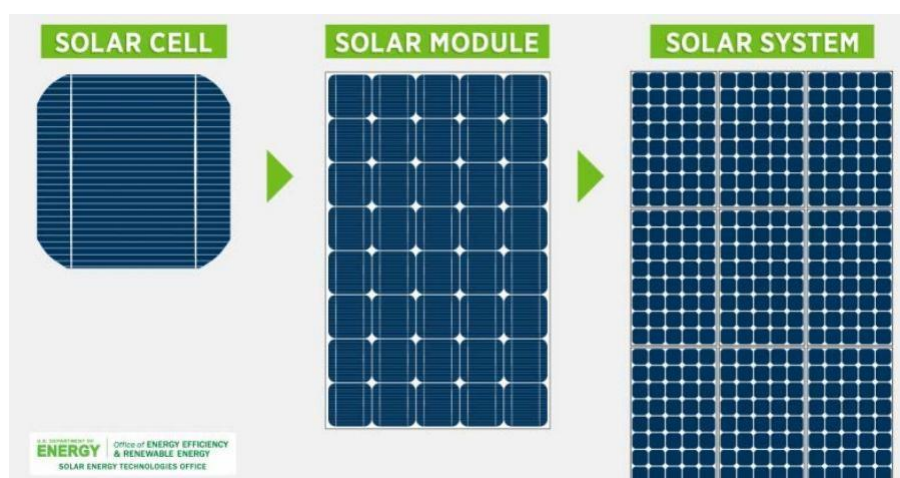
1.4.2.1 Paneles solares.

Los paneles solares están compuestos o formados por varias capas de celdas fotovoltaicas; también se les conoce como fotocélula o célula fotoeléctrica. Los paneles solares atrapan la energía proveniente del sol en forma de radiación solar y a esta la convierten en electricidad de corriente directa. En el mercado existen comúnmente 2 tipos de paneles, monocristalinos y policristalinos; la principal diferencia radica en la eficiencia y en el precio: los monocristalinos son más eficientes, pero más caros en comparación con los policristalinos, ligeramente menos eficientes y más económicos. Las celdas fotovoltaicas trabajan en condiciones estándar de prueba para así maximizar su generación energética (Zaraeva, 2024)

- **Irradiancia solar:** 1000 W/m^2 , esta es radiación solar que penetra directamente al panel solar.
- **Temperatura de la celda fotovoltaica:** 25°C
- **Masa de aire (AM):** 1.5, este valor es cuánta atmósfera atraviesan los rayos del sol antes de llegar al panel solar.

Figura 1

Estructura del generador fotovoltaico: celda solar, módulo y arreglo de paneles.



Fuente: (NREL, 2024)

1.4.2.2 Inversor.

Un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua (DC) proveniente de baterías o paneles solares en corriente alterna (AC), utilizada comúnmente en la mayoría de aparatos y sistemas eléctricos. El equipo seleccionado es el Victron MultiPlus Compact 12 V, 2000 VA, 80 A; AC transfer 50 A, 120 V. Además, cuenta con un interruptor de transferencia que hace conmutar entre la red eléctrica y la energía solar de manera automática cuando exista algún corte eléctrico, lo que permite mantener la operatividad y continuidad del suministro eléctrico. (Victron Energy, 2025b).

Figura 2

Inversor MultiPlus Compact marca Victron.



Fuente: (Victron Energy, 2025b)

1.4.2.3 Controlador de carga (MPPT 150/45).

De igual manera, seleccionado de la misma marca del inversor (Victron) para garantizar una mejor compatibilidad entre ambos equipos. El controlador, también llamado regulador de carga tiene como función principal regular o controlar la energía que proviene de los paneles solares hacia las baterías, al cumplir su función evita sobrecargas. Por otro lado, la tecnología MPPT, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia, por sus siglas en inglés Maximum Power Point Tracking optimiza la tensión de entrada para captar la máxima energía posible, especialmente en días no exista demasiado sol (Victron Energy, 2025c). En su denominación 150/45, el primer valor (150) corresponde al voltaje máximo en circuito abierto que puede recibir desde los paneles

solares, mientras que el segundo (45) indica la corriente máxima de salida hacia las baterías, expresados en voltios y amperios respectivamente.

Figura 3

Controlador o Regulador de carga MPPT marca Victron



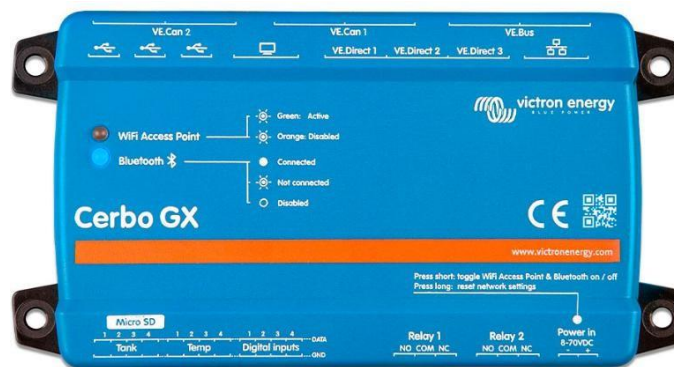
Fuente: (Victron Energy, 2025c)

1.4.2.4 Cerbo GX MK2.

Este equipo Victron es un centro de comunicaciones avanzado y flexible, es el cerebro y núcleo del sistema fotovoltaico debido a que permite la monitorización y la gestión remota en tiempo real de los diferentes aparatos conectados a él como lo es el inversor y el controlador que son del mismo fabricante y equipos que no son de la misma línea como un banco de baterías de 12V. Además, esto se puede visualizar y gestionar gracias al portal Victron Remote Monitoring (VRM) y la aplicación móvil de VictronConnect. El Cerbo GX MK 2 es una versión mejorada del MK 1 principalmente por la mayor capacidad de procesamiento y mejor eficiencia energética, junto con una conectividad más robusta.

Figura 4

Cerbo GX MK2 marca Victron



Fuente: (Victron Energy, 2025a)

1.4.2.5 Banco de baterías.

Las baterías, llamadas también acumuladores, almacenan la energía que se haya generado durante el día para utilizarla por las noches o cuando exista algún fallo en la red eléctrica. Las baterías son de vital importancia para lograr autosuficiencia, al ofrecer las reservas necesarias para mantener el sistema operando, aunque no exista la energía solar.

Figura 5

Batería Solar



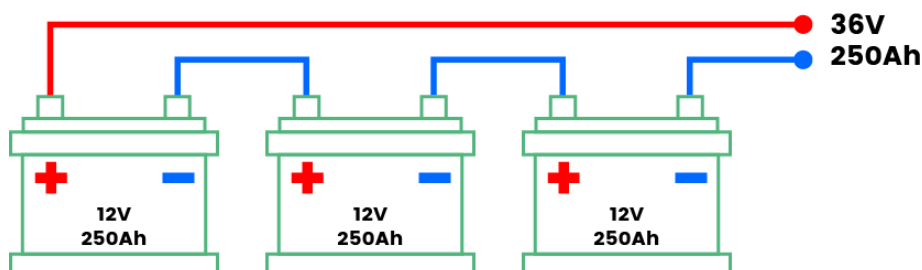
Fuente: (Ritar, 2023)

Las baterías pueden conectarse de dos maneras, en serie o en paralelo:

- **Banco de baterías en serie:** Como su nombre lo indica, es conectar dos o más baterías una seguida de otra, es unir el terminal positivo de un acumulador con el negativo de otro, mientras que en sus extremos queda la suma de ambas baterías. El propósito de tener este tipo de conexión es aumentar la tensión total de corriente continua del sistema, además, mantener la capacidad de Amperios-hora (Ah) como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Conexión de baterías en serie.

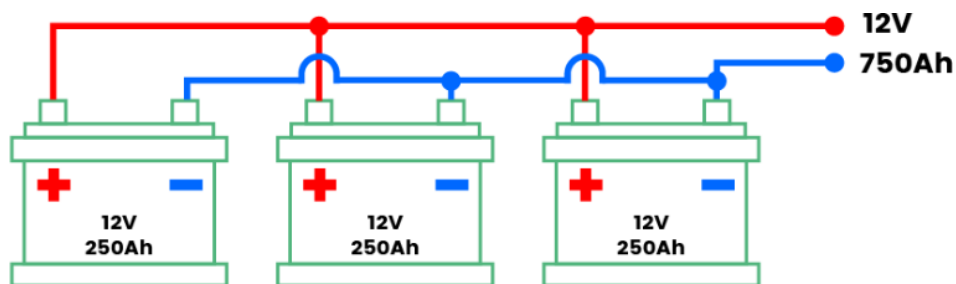


Fuente: (AutoSolar, 2025a)

- **Banco de baterías en paralelo:** Consiste en unir todos los terminales positivos de cada acumulador que haya en el sistema, de igual manera con los negativos. Con este tipo de conexión se busca aumentar la corriente y la capacidad de Amperios-hora (Ah). Ver figura 7.

Figura 7

Conexión de baterías en paralelo.



Fuente: (AutoSolar, 2025a)

1.4.2.6 Protecciones eléctricas.

Esto incluye fusibles y disyuntores que son elementos o componentes que protegen al sistema de sobrecargas o cuando exista algún cortocircuito. Todos estos son significativos para lograr una mayor seguridad y alargar la vida de todo el sistema (Carrillo & Castillo, 2023)

Figura 8

De izquierda a derecha: fusible y disyuntor.



Fuente: (Afore, 2025; AutoSolar, 2025b)

Estos componentes forman el núcleo del sistema fotovoltaico que permitirá al CIDIS mantener una operación ininterrumpida. El dimensionamiento específico y cálculos técnicos se abordarán en la metodología, manteniendo aquí la comprensión general del sistema.

Figura 9

Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.



Fuente: (Alonso, 2025)

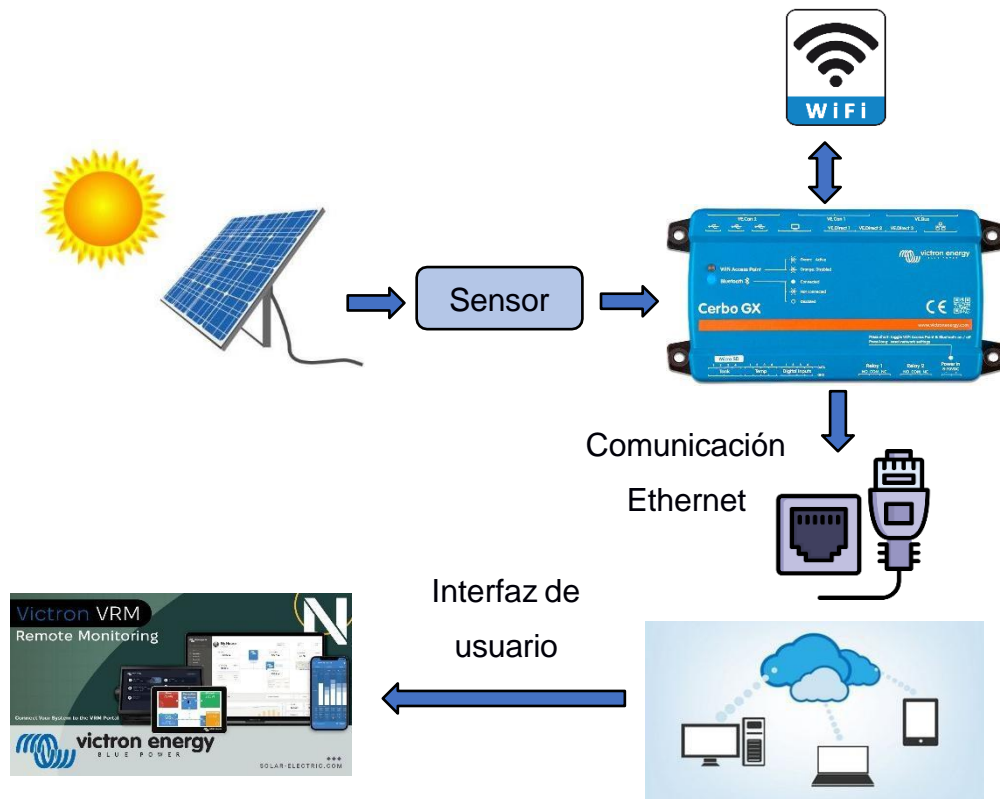
1.4.3 Sistemas de monitoreo y telemetría en energía solar.

La telemetría en sistemas de energía solar, o de manera general, de cualquier sistema consta de varios pasos: adquirir, transmitir y visualizar datos de manera remota y en tiempo real, debido a este procedimiento, se puede supervisar todo el funcionamiento de los componentes fotovoltaicos y eléctricos, gracias a la adquisición de datos y en sí, a la telemetría, el sistema fotovoltaico se convierte en una instalación inteligente ya que tiene la capacidad de mejorar su eficiencia y confiabilidad.

Precisamente en el contexto de instalaciones solares, la telemetría se la utiliza para registrar y analizar variables eléctricas, principalmente de voltaje, corriente y potencia, en algunos otros casos, variables ambientales que pueden influir en el rendimiento general. En pro de este monitoreo continuo, es posible detectar fallos de forma temprana, así como también optimizar el desempeño de los equipos y planificar mantenimientos preventivos para de esta manera ir reduciendo paradas no programadas y prolongando la vida útil de todo el sistema fotovoltaico.

Figura 10

Telemetría de un sistema fotovoltaico mediante Cerbo GX y VRM.



Fuente: Imagen de elaboración propia.

A nivel internacional se tiene que, en México, se desarrolló un sistema de telemetría residencial con una plataforma de código abierto, como el NodeMCU, además del chip ESP8266 que integra la conexión Wifi, lo que facilita el desarrollo de proyectos con IoT, el proyecto midió el consumo energético, de agua y la generación fotovoltaica, y lo visualiza en una aplicación de Android; en conjunto, permite demostrar la integración efectiva de sensores y plataformas remotas (Yanez, 2021).

A nivel nacional, en Ambato implementaron un sistema de monitorización con un seguidor solar de un eje; para el desarrollo del proyecto utilizaron sensores de corriente del tipo Hall para la corriente y estos datos lo almacenaron en una base de datos para posteriormente analizar la eficiencia (Quinapanta, 2024).

Mencionados proyectos respaldan lo útil que es la telemetría en proyectos solares, ya que permite mejorar el control, realizar análisis históricos, además de generar alertas y así mejorar la eficiencia operativa, para CIDIS, dentro de ESPOL, la integración de este

sistema, hará que sea más robusto, potenciará la gestión energética, resiliencia antes cortes del suministro eléctrico y capacidad de respuesta eficaz.

1.4.4 Sistemas integrados de adquisición y monitoreo energético basados en Cerbo GX MK2.

Específicamente en sistemas fotovoltaicos, existen los equipos integrados de adquisición de datos (DAQ) y monitoreo energético, entre dichos equipos destaca el Cerbo GX MK2 que tiene como función principal centralizar la recopilación, procesamiento y transmisión de datos operativos provenientes de controladores de carga, inversores y banco de baterías, lo que hace factible la supervisión en tiempo real y así mismo la gestión remota, por lo que contar con estos equipos especiales es que se puede reemplazar configuraciones más tradicionales como los esquemas basados en microcontroladores y sensores individuales, reemplazándolos se logra obtener una solución unificada y optimizada (Victron Energy, 2025d).

1.4.4.1 Adquisición y monitoreo de parámetros eléctricos.

El DAQ y la telemetría de un sistema fotovoltaico incluye la medición de parámetros eléctricos tanto en corriente continua como en corriente alterna. Además, se supervisa el estado de las baterías para asegurar su buen funcionamiento. Cumplir con este proceso permite evaluar el flujo energético desde el inicio hasta el final, es decir, desde los paneles hacia las cargas en AC (o DC en caso de existir), de igual manera asegura un seguimiento de la capacidad, voltaje, corriente de carga y descarga y temperatura de la batería instalada. La combinación de todas estas funciones hace que el monitoreo sea más preciso, lo que en consecuencia facilita la detección oportuna de fallos, la optimización del rendimiento en general y, por ende, la prolongación de la vida útil de los componentes del sistema.

1.4.5 Plataformas de visualización remota y supervisión SCADA en ecosistema Victron.

1.4.5.1 VRM (Victron Remote Management)

VRM es la plataforma en la nube de Victron Energy para la supervisión y análisis de sistemas fotovoltaicos, en esta plataforma es donde se recibe y se almacena de manera continua los datos que transmite el cerebro de la telemetría, es decir, el Cerbo GX MK2, dentro de VRM se puede visualizar de manera clara y bien organizada los gráficos

históricos, reportes detallados y alertas personalizadas. Visto de esta manera, constituye una solución SCADA basada en la nube (web), donde se es capaz de centralizar información importante que viene de diferentes sitios y equipos y facilitar la toma de decisiones energéticas (Victron Energy, 2025f),

Figura 11

Interfaz del VRM (Victron Remote Management)



Fuente: (Victron Energy, 2025f)

1.4.5.2 VictronConnect y su integración con Cerbo GX MK2

Es una aplicación de celular que permite y facilita la comunicación directa con los equipos Victron, por medio de Bluetooth donde su función principal es ofrecer una interfaz de configuración, diagnóstico y monitoreo a pesar de no contar con internet. En el monitoreo, específicamente de sistemas energéticos, esta aplicación representa una herramienta SCADA de alcance local porque posibilita ajustes rápidos, al mismo tiempo que hace más sencillo la verificación de parámetros y mantenimiento en campo, VictronConnect complementa las capacidades de la plataforma remota de VRM (Victron Energy, 2025e).

Figura 12

Interfaz del VictronConnect.



Fuente: (Victron Energy, 2025e)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Identificación del problema y planteamiento de soluciones.

2.1.1 Diagnóstico de la dependencia energética del CIDIS.

Durante el 2024, Ecuador vivió una de las peores crisis energéticas que ha ocurrido durante los últimos años, esta se caracterizó por cortes de electricidad de hasta 14 horas diarias, afectando no solamente la vida cotidiana de las personas sino también puso en evidencia la fragilidad de todo aquel establecimiento, como en el caso específico del CIDIS de ESPOL, que depende en su totalidad de la red eléctrica para las operaciones diarias como centro de investigación. Mencionada dependencia eléctrica mostró ser un riesgo crítico para la continuidad investigativa, la integridad de los datos y la correspondiente funcionalidad de los equipos. Por tal motivo, se buscó una solución que garantice la autonomía energética y continuidad operativa.

2.1.2 Alternativas evaluadas.

Se analizaron tres alternativas tecnológicas con los criterios de viabilidad técnica, económica, operativa y ambiental:

- **Grupo electrógeno a diésel con transferencia automática:** Esta solución brindaba respaldo inmediato, pero presentó grandes desventajas como mantenimiento constante, alto consumo de combustible fósil, mucho ruido, emisiones contaminantes y era muy costoso, siendo menos sostenible que las energías renovables (Mango & Mullendore, 2024).
- **Sistema híbrido eólico-solar con almacenamiento en baterías:** este sistema combinaba dos fuentes renovables, lo cual permite mejorar la continuidad energética al mitigar la intermitencia climática. Sin embargo, en la ubicación del CIDIS, la variabilidad del recurso eólico y el incremento en la complejidad técnica y costos de implementación lo hicieron menos viable (Jiangsu DHC Environmental Si-Tech Co., 2024).
- **Sistema fotovoltaico con almacenamiento y telemetría:** Esta solución, en comparación a las otras opciones, resultó ser la más adecuada por aprovechar la

energía que proviene del sol, a grandes rasgos presentó bajo costo de mantenimiento, por otro lado, resultó ser altamente escalable y con la posibilidad de almacenar la energía en baterías para garantizar la continuidad en la noche o cuando haya cortes de electricidad. Además, la telemetría permitía supervisión remota y optimización energética.

2.1.3 Justificación de la solución seleccionada.

La tercera opción, sistema fotovoltaico con almacenamiento y telemetría fue seleccionada dado su costo operativo a largo plazo, su aporte limpio al medio ambiente y su adaptación técnica al contexto que presentó el CIDIS. Un análisis preliminar y rápido de la demanda estimada probó y demostró que podía ser cumplida mediante un sistema de paneles solares, baterías, controlador e inversor. Adicionalmente, el plus de la telemetría permitiría una supervisión en tiempo real de variables eléctricas como voltaje y corriente, ambientales como temperatura y humedad, facilitando la gestión eficiente de todo el sistema fotovoltaico.

2.2 Metodología de diseño empleada.

2.2.1 Enfoque general de diseño tecnológico.

El diseño del sistema fotovoltaico inteligente se desarrolló a partir de la necesidad urgente de darle solución a un problema en concreto: minimizar la dependencia del CIDIS a la red eléctrica y consecuencia reducir el consumo energético. Para lograrlo se empleó una metodología fundamentada en los principios de energías renovables, que integró criterios de viabilidad técnica, la disponibilidad de materiales y componentes como los paneles solares, baterías e inversor, la facilidad de implementación y la eficiencia operativa. Esta estrategia logró en su totalidad optimizar el uso de los recursos disponibles ya mencionados y así reducir los costos del proyecto, permitiendo un compromiso sólido con la eficiencia y la funcionalidad del sistema completo.

2.2.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Antes de iniciar con los cálculos, fue necesario establecer un punto de partida que permitiera definir la capacidad del sistema en función de la demanda energética y de los equipos disponibles. El dimensionamiento se orientó a cubrir las cargas seleccionadas

(iluminación y tomacorrientes para cinco laptops) y a garantizar un respaldo adecuado mediante el banco de baterías.

Para la realización de los cálculos partiremos desde el inversor que ya se encuentra instalado.

- Características del Inversor

$$S = 2000 \text{ VA}; fp = 0.8; P = 1600 \text{ W}$$

Para encontrar la corriente nominal del inversor se hará uso de la siguiente formula:

$$P = V * I * fp$$

$$I_{Inversor} = \frac{1600 \text{ W}}{120 \text{ V} * 0.92}$$

$$I_{Inversor} = 14.5 \text{ [A]}$$

$$I_{breaker} = I_{Inversor} * 1.25$$

$$I_{breaker} = 18.12 \text{ [A]}$$

$$Breaker: 20A - 1P$$

La energía generada por los paneles (kWh) se calcula en base a las Horas Solar Pico (HSP) de la ubicación. Para la ciudad de Guayaquil, sede del proyecto, se ha estimado un HSP promedio de 4.2.

$$Potencia_{Panel} = 260 \text{ W}$$

$$Potencia \text{ diaria }_{Panel} = 260 * \frac{HSP}{1000}$$

$$Potencia \text{ diaria }_{Panel} = 260 * \frac{4.2}{1000}$$

$$Potencia \text{ diaria }_{Panel} = 1.092 \text{ kwh/día}$$

El dimensionamiento del sistema requiere conocer la carga instalada, la cual se obtuvo mediante un levantamiento eléctrico de los equipos. Ver Tabla adjunta:

Tabla 1 .

Cargas críticas

Análisis de cargas					
Equipos	Cantidad	Potencia [W]	Potencia Instalada [W]	Horas de uso diario [h]	Consumo diario [Wh/día]
Iluminación -AL1	11	60	660	8	5280
Iluminación -AL2	5	30	150	8	1200

Computadoras - TC	5	70	350	4	1400
Iluminación -AL3	5	60	300	8	2400
Total			1460		10.28 [kWh/día]
Consumo diario [kWh/mes]					308.4

Fuente: Tabla de elaboración propia, 2025

$$Potencia_{instalada} = 10.3 \text{ kWh/día}$$

Una vez determinadas la potencia generada por los paneles y la potencia demandada por las cargas, se procede a calcular el número de paneles requeridos para la instalación.

$$n = \frac{Potencia_{instalada}}{Potencia_{diria_{Panel}}}$$

$$n = \frac{10.3}{1.092}$$

$$n = 9.43 \text{ paneles}$$

- CAPACIDAD DE BANCO DE BATERIAS
 - ✓ 3 BATERIAS DE GEL 12VDC 200AH
 - ✓ POTENCIA DE BANCO DE BATERIAS 7.2 kWh
- Demanda 1460 W

Para alargar la vida de las baterías, no se deben usar por completo. En este sistema, las baterías de Gel se descargarán solo hasta un 70% de su capacidad, dejando siempre un 30% de carga como reserva para protegerlas y garantizar su duración.

$$Potencia_{Util\ Baterias} = 7.2Kwh * 0.7$$

$$Potencia_{Util\ Baterias} = 5.04 \text{ kwh}$$

$$Potencia_{\acute{U}til\ Baterías} = 5.04 \text{ kWh}$$

$$Tiempo_{de\ descarga} = \frac{\quad}{Demanda} = \frac{5.04 \text{ kWh}}{1.46 \text{ kw}}$$

$$Tiempo_{de\ descarga} = 3.45 \text{ h}$$

En conclusión, los cálculos realizados permiten conocer la capacidad requerida para cubrir la demanda de energía del CIDIS y estimar un tiempo de respaldo de aproximadamente 3.45 horas, información que sirvió como referencia inicial para el diseño general del sistema fotovoltaico

2.2.3 Etapas del diseño.

El diseño final del sistema fotovoltaico pasó por varias etapas secuenciales, logrando así consolidar una solución técnica, viable, optimizada y adaptada a los recursos que teníamos a mano. Estas etapas abarcaron desde la caracterización de la demanda energética hasta la validación de compatibilidad entre equipos e implementación del sistema de monitoreo.

a) Caracterización de la demanda energética del CIDIS.

El primer paso consistió en analizar la demanda de energía destinada a la iluminación del edificio y a un circuito de tomacorrientes diseñado para alimentar hasta cinco computadoras portátiles, definidos como las únicas cargas a abastecer. Para garantizar un funcionamiento estable y programado, se implementó un temporizador digital que reguló el horario de operación del sistema fotovoltaico con banco de baterías, establecido de manera ininterrumpida durante la jornada laboral (8:00 a.m. – 4:00 p.m.). Una vez concluida la jornada, la red eléctrica asumía la tarea de recargar las baterías hasta el inicio del siguiente día, asegurando así la disponibilidad de energía para el funcionamiento diario del sistema.

b) Evaluación de configuración del sistema.

En esta segunda etapa se exploró dos arreglos fotovoltaicos. Al inicio se consideró un grupo de cinco paneles en serie y este en paralelo con otro grupo de cinco, llamado también dos strings de cinco paneles, lo que requería un controlador de carga de mayor capacidad (modelo Victron 250/60). Sin embargo, por restricciones monetarias, se volvió a diseñar el sistema fotovoltaico a un arreglo de tres strings de tres paneles, es decir, tres cadenas de tres paneles en serie conectadas en paralelo, logrando seleccionar el regulador Victron MPPT 150/45, más económico y compatible con la tensión y corriente del sistema.

c) Validación de compatibilidad de componentes.

Dado que ya se contaba con los paneles (once paneles de 260W, pero nueve instalados dado el arreglo), un banco de baterías de 12 V – 200 Ah y un inversor Victron MultiPlus Compact de 2000 VA, se evaluó la compatibilidad eléctrica entre todos estos equipos y el controlador seleccionado. Se verificaron parámetros como voltajes máximos de entrada, cuánta corriente soporta y también la que puede entregar hacia el inversor y los requisitos de protección. Esta confirmación técnica permitió asegurar una operación estable y segura del sistema.

d) Implementación del sistema de monitoreo.

En este paso, en lo que respecta a la supervisión en tiempo real, el equipo principal encargado fue el Cerbo GX MK2, este es la unidad central de adquisición y gestión de datos, ya que este dispositivo tiene la función de recopilar todas las variables del sistema en sí, en este caso, variables eléctricas de voltaje, corriente y potencia tanto de los paneles solares como a la salida del inversor donde se mide las cargas en AC, iluminación y tomacorrientes, por otro lado, el voltaje, corriente de carga/descarga y temperatura de las baterías. El sistema se complementa con las plataformas de VRM y VictronConnect, que permiten la adquisición y visualización de toda la información recopilada por el Cerbo en tiempo real, así se supervisan las variables eléctricas, el estado de carga de las baterías y el rendimiento general del sistema fotovoltaico, asegurando una interfaz intuitiva y confiable para el análisis y la toma de decisiones.

2.2.4 Herramientas y referencias normativas utilizadas.

El diseño se fundamentó en normas internacionales y guías de buena prácticas para instalaciones de sistemas fotovoltaicos, las usadas en este proyecto fueron la IEC 62548 que tiene como objetivo asegurar que los sistemas de energía solar fotovoltaica cumplan con los requisitos de calidad y seguridad necesarios para su funcionamiento seguro y efectivo (Solomنيا, 2023), la NEC 690 que asegura cumplimiento eléctrico y prevención de riesgos (Espacios Críticos Design, 2021), la norma IEC 61439 que establece los requisitos de seguridad y desempeño para tableros de baja tensión asegurando la fiabilidad y protección de los componentes eléctricos (Legrand, 2022), además de las recomendaciones de los fabricantes Victron Energy.

Las herramientas utilizadas incluyeron:

- Hojas técnicas de los equipos utilizados: paneles solares, controlador, inversor, cerbo y baterías.
- Software AutoCAD para el diseño eléctrico de los esquemas y planos.

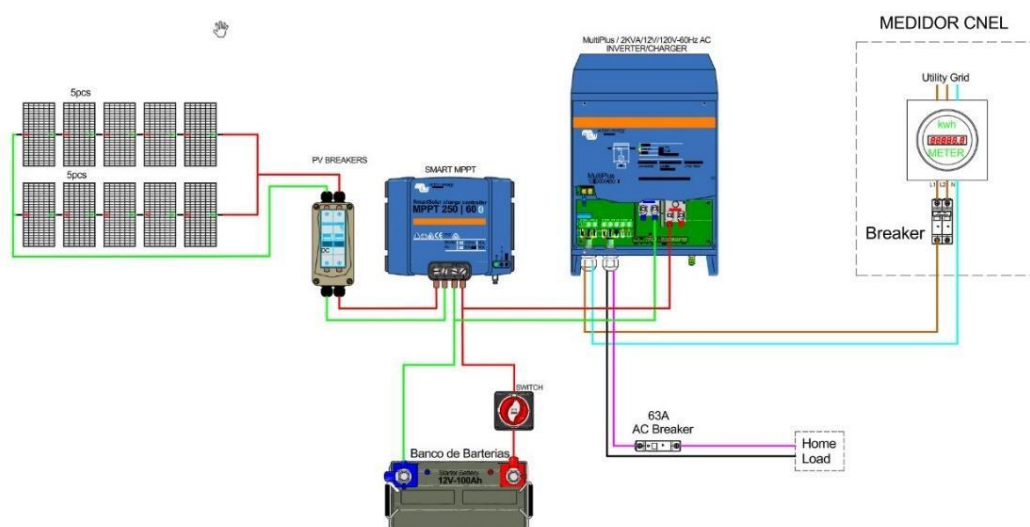
2.3 Diseño conceptual del sistema.

2.3.1 Primera propuesta de configuración.

Se diseñó el sistema fotovoltaico inteligente que integró componentes ya existentes dentro de CIDIS como once paneles de 260W, seis baterías AGM de 12V y un inversor marca Victron MultiPlus Compact y se lo ajustó a condiciones reales de operación. Inicialmente se presentó la propuesta de dos strings de cinco paneles, es decir, dos grupos en paralelo y en cada grupo tenían cinco paneles en serie, esta configuración resultaba atractiva por la mayor eficiencia de conversión de energía ya que se utilizaba diez de los once paneles disponibles. No obstante, aunque no existían limitaciones con los paneles ni con las baterías, ya que la potencia generada por los paneles era suficiente y el banco podía configurarse en serie para aumentar el voltaje, sí se presentó una restricción con el inversor de 12 V. Para operar adecuadamente con el arreglo de dos strings de cinco, se requería que el sistema trabajara mínimo a 24 V, lo que implicaba también un controlador de carga MPPT 250/70. Sin embargo, este equipo resultaba considerablemente más costoso y superaba el presupuesto disponible.

Figura 13

Primer configuración del sistema fotovoltaico



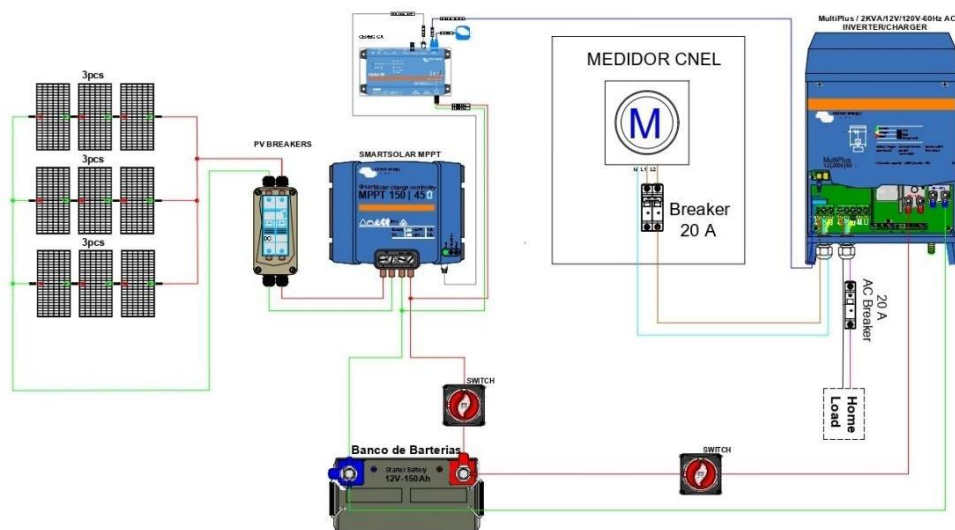
Nota: Imagen de elaboración propia

2.3.2 Reconfiguración final del sistema fotovoltaico.

Luego de evaluar los costos y la compatibilidad de los equipos, se procedió a replantear el diseño a tres paneles en serie con tres ramas en paralelo, llamado también tres strings de tres paneles, instalando nueve paneles de los diez. Aunque se haya reducido ligeramente la potencia instalada, este nuevo arreglo resultó también eficiente, económica y técnicamente viable. Fue seleccionada por la compatibilidad con el controlador Victron MPPT 150/45 adquirido, que se acopla de manera óptima a los parámetros eléctricos de esta configuración. Además, se redujeron costos frente al de 250/70, de igual manera mantuvo un excelente rendimiento energético y facilitó la integración con el sistema de baterías e inversor existentes. En esta etapa también se incorporó el dispositivo de monitoreo Cerbo GX MK2, lo que permitió enlazar el sistema con la plataforma VRM y la aplicación VictronConnect, ampliando las capacidades de supervisión, control remoto y análisis de desempeño energético en tiempo real.

Figura 14

Configuración final del sistema fotovoltaico



Nota: Imagen de elaboración propia.

2.4 Implementación del sistema fotovoltaico.

2.4.1 Integración de paneles, baterías, controlador MPPT, Cerbo GX MK2 e Inversor.

La implementación completa del sistema fotovoltaico se llevó a cabo teniendo en cuenta la integración de los equipos eléctricos y electrónicos de manera ordenada, segura,

estética y sobre todo funcional, bajo el arreglo ya definido anteriormente, es decir, tres strings de tres paneles. En la figura 15 se muestra a los paneles solares montados en una estructura metálica en la cubierta del CIDIS.

Figura 15

Montaje de los paneles solares.



Nota: Imagen de elaboración propia.

Figura 16

Conectores MC4 y paneles conectados.



Nota: Imagen de elaboración propia.

Los paneles conservaron físicamente su ubicación original, pero reorganizaron eléctricamente de tal manera que sí se cumpla la topología de tres strings de tres paneles

(3S3P). La conexión se realizó con conectores MC4 que asegura una fuerte resistencia a la intemperie (Ver figura 16), posteriormente, los cables fueron canalizados hacia el interior del edificio donde se encuentra el tablero con su sistema de protección y demás equipos, especialmente el controlador de carga Victron MPPT 150/45 y el Cerbo GX MK2, al regulador se conectan los cables que llegan de los paneles y de las baterías de 12V, además, se incluyen borneras de conexión, fusibles y contactores colocados de manera limpia y ordenada con la finalidad de permitir una mejor identificación y facilitar tanto la operación como el mantenimiento del sistema.

Figura 17

Tablero de conexiones.



Nota: Imagen de elaboración propia

El sistema de almacenamiento se encuentra en una plataforma metálica; está conformado por un juego de tres baterías de gel de 12V conectadas en paralelo para trabajar con el inversor. Así mismo, dentro del mismo tablero donde se encuentra el controlador, se integró el sistema de adquisición de datos y telemetría. Este sistema está manejado por el Cerbo GX MK2, el cual recopila las variables eléctricas tanto de los paneles y baterías en DC como del inversor en AC. La supervisión y visualización de estos datos se realizó mediante las plataformas VRM y VictronConnect, que permiten gestionar el monitoreo de manera local y remota, a través de un teléfono móvil o una computadora siempre y cuando se tenga acceso a internet, asegurando así un control confiable del comportamiento del sistema fotovoltaico.

El inversor Victron fue instalado junto con los demás equipos, justo al lado de un tablero con salidas de cargas protegidas. Mencionado tablero cuenta con sus respectivas protecciones como fusibles, seccionadores, unos indicadores visuales mediante indicadores LED de voltaje y corriente y un selector que permite trabajar al sistema de manera manual o automático, es decir, donde opera únicamente la red o los paneles solares, respectivamente como se ilustra en la figura 18.

Figura 18

Inversor Victron y tablero de conexiones.



Nota: Imagen de autoría propia.

2.5 Sistema de telemetría y monitoreo.

El sistema fotovoltaico no estaba completo sin la parte “inteligente”, es decir, sin el sistema de telemetría, por lo que no bastaba con generar y almacenar energía sino también permitir la supervisión constante de sus variables de operación, por lo que se implementó un esquema de telemetría, donde el equipo central fue el Cerbo GX MK2 en conjunto con las plataformas de monitoreo VRM y VictronConnect, dichas plataformas garantizan el acceso remoto y en tiempo real a los datos más relevantes del sistema en general.

2.5.1 Variables eléctricas monitoreadas.

El Cerbo GX MK2 fue el encargado de recopilar la información de las diferentes partes del sistema, como por ejemplo voltaje, corriente y potencia en corriente continua (DC)

provenientes de los paneles solares, de igual manera el estado de las baterías (voltaje, corriente de carga o descarga y temperatura), por otra parte, también se registraron parámetros en corriente alterna (AC) que están a la salida del inversor, lo que permitió monitorear y verificar cómo se está comportando y desempeñando la iluminación y el circuito de tomacorrientes.

2.5.2 Comunicación y visualización remota de datos.

Para poder transmitir y visualizar la información del sistema, se conectó el Cerbo GX MK2 a internet usando un cable Ethernet (ver figura 19), lo que permitió que los datos se enviaran automáticamente a la plataforma en la nube VRM (Victron Remote Management). Gracias a esto, se pudo acceder al estado del sistema de forma remota desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Además, se usó la aplicación VictronConnect como una opción más sencilla y local para monitorear el sistema, lo cual fue útil para revisar los parámetros directamente en el lugar. Ambas herramientas mostraron gráficas en tiempo real sobre cómo se estaba comportando el sistema a nivel energético, y también guardaban un historial de datos, lo que fue importante para llevar un seguimiento claro del funcionamiento.

Figura 19

Conexión del Cerbo GX MK2 a internet mediante cable Ethernet.



Nota: Imagen de autoría propia.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y Análisis

3.1 Introducción.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos después de la implementación y prueba del sistema fotovoltaico con almacenamiento y telemetría en el CIDIS-ESPOL. Los datos que se muestran fueron tomados entre el 15 y el 21 de agosto, tiempo en el cual se revisó tanto el funcionamiento técnico como la respuesta del sistema en diferentes condiciones de operación.

De manera general, se pudo analizar cómo fue la generación de energía de los paneles, la autonomía que brindaron las baterías en caso de apagones, la eficiencia del sistema completo, además de la utilidad del sistema de monitoreo y las proyecciones de ahorro económico. También se incluye un análisis de costos para determinar la viabilidad del proyecto no solo desde lo técnico, sino también desde lo económico.

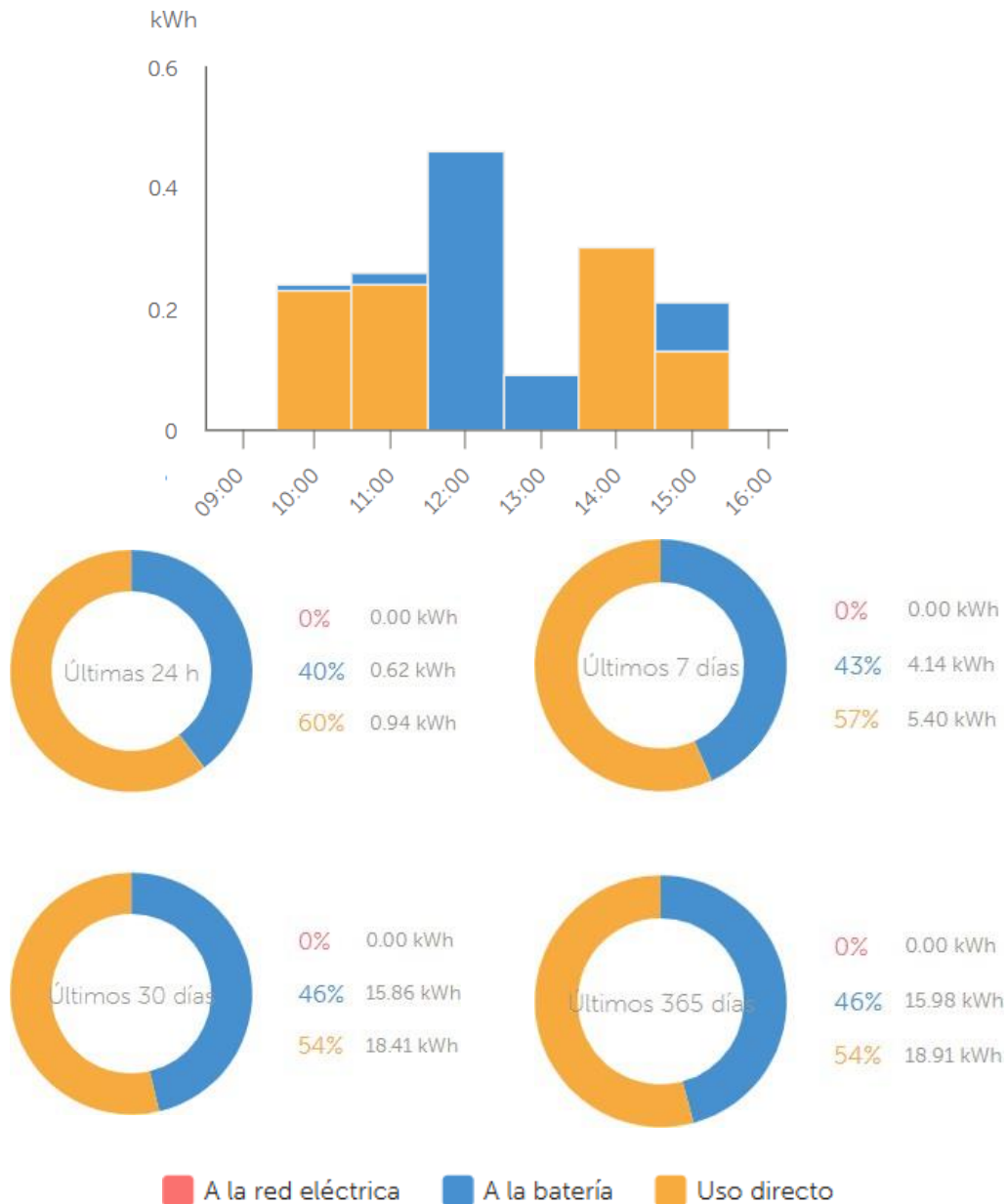
3.2 Generación de energía.

El arreglo fotovoltaico configurado en 3S3P y conectado al controlador Victron MPPT 150/45 funcionó de manera estable durante todo el período de pruebas. La corriente máxima de carga que se dirigió hacia las baterías llegó hasta el límite del controlador, es decir, unos 45 A, lo que confirmó que los paneles trabajaron dentro de lo esperado, ver figura 20, que es el registro en la plataforma de VRM.

En las horas de mayor radiación solar, que se dieron aproximadamente entre las 11:00 y las 14:00, se registraron los valores más altos de generación. Por otra parte, en horarios temprano de la mañana y casi finales del día solar, la producción fue menor, tal como es de imaginarse por la posición del sol. Este proceso natural resaltó la importancia de contar con un banco de baterías en buen estado que se pudiera almacenar el exceso de energía generado en los momentos de máxima irradiancia para luego utilizarlo en horas de menor producción o cuando exista algún corte de energía en la red eléctrica. Logrando así que el sistema fotovoltaico se comporte de manera estable, aprovechando lo más que se pueda la energía solar disponible, ese suceso permitió comprobar el correcto dimensionamiento planteado en el capítulo anterior.

Figura 20

Datos de instalación: Solar



Nota: Imagen de autoría propia.

3.3 Autonomía y respuesta ante cortes de energía.

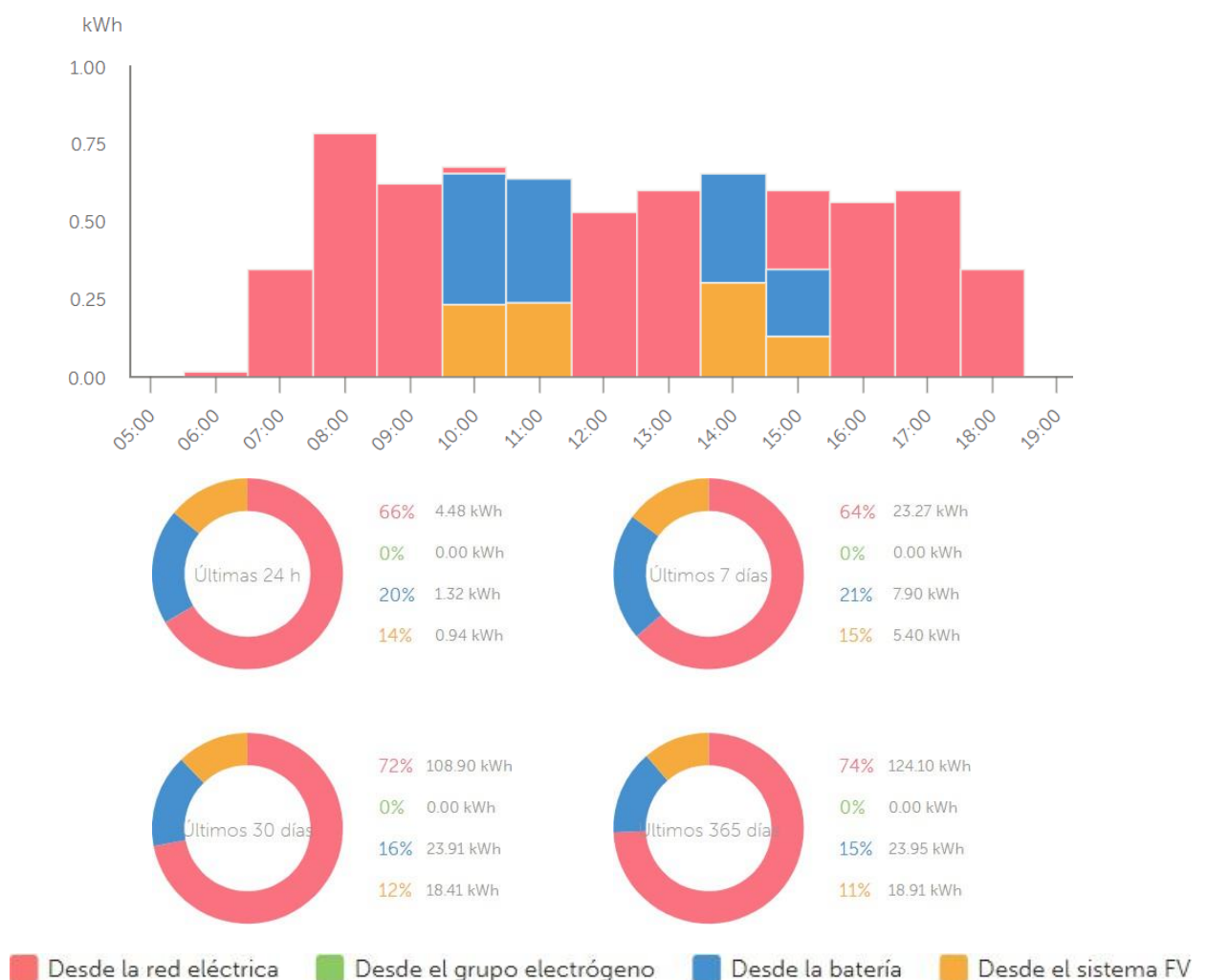
Para comprobar la autonomía del sistema, se realizaron tres simulacros de cortes de energía durante la jornada laboral. En todos los casos, el inversor MultiPlus reaccionó de manera casi inmediata, ya que en menos de 20 milisegundos pasó de la red eléctrica al modo inversor, lo que hizo que las cargas críticas siguieran funcionando sin interrupciones.

El banco de baterías de 600 Ah (3x200 Ah en paralelo, 12 V) proporcionó una autonomía de aproximadamente 3,5 horas ya que $12\text{ V} \times 600\text{ Ah} \times 0,7 \approx 5,04\text{ kWh}$; donde la demanda crítica $\approx 1,46\text{ kW}$, entonces $5,04/1,46 \approx 3,45\text{ h}$, manteniendo operativa la iluminación y los tomacorrientes seleccionados como prioritarios. Este tiempo fue más que suficiente si se compara con la duración promedio de los apagones en la ciudad, que normalmente no sobrepasan las dos horas.

Con esto, no solo nos aseguramos de que las cargas críticas siguieran funcionando sin problemas, sino que además les dimos un margen de seguridad para estar prevenidos si llegaba a haber un corte de energía.

Figura 21

Datos de instalación: Consumo



Nota: Imagen de autoría propia

3.4 Eficiencia del Sistema de Almacenamiento y Conversión.

A medida que se realizaban las pruebas, la profundidad de descarga de las baterías nunca pasó del 30%, lograr esto resultó de vital importancia porque al estar dentro de este límite lo que se hace con las baterías es prolongar la vida útil y en consecuencia, significa menos gastos de reemplazo en el futuro.

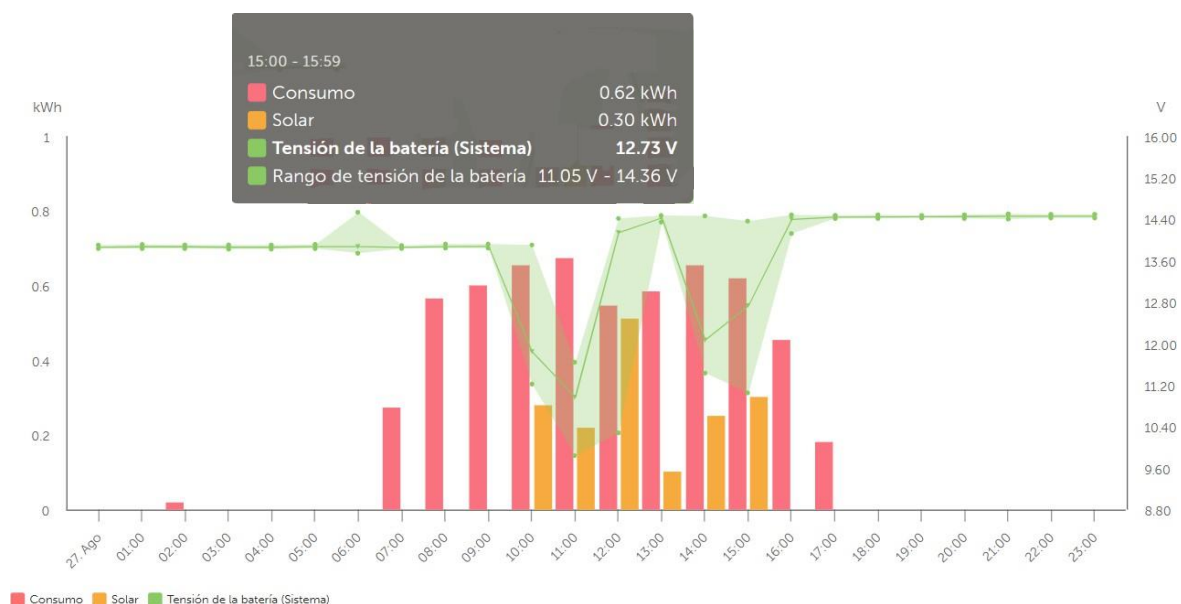
En cuanto a la eficiencia total, es decir, desde la generación solar hasta la salida del inversor (cargas en AC) el valor de dicha eficiencia alcanza hasta el 88%, contar con un porcentaje así de alto, es beneficioso porque indica la buena calidad de los equipos utilizados y una correcta instalación del sistema.

Otro punto importante a considerar es respecto a las pérdidas, estas por cableado fueron mínimas gracias a un correcto dimensionamiento, lo que fue clave para que la energía generada llegara de manera más limpia y directa a las cargas.

Esto también se refleja en la figura 22, donde se observa que la tensión de la batería se mantuvo siempre dentro de un rango estable y seguro, incluso en las horas de mayor consumo. De esta forma se confirma que el sistema trabajó de manera eficiente y que las baterías no sufrieron descargas profundas.

Figura 22

Datos de instalación: Resumen del sistema.



Nota: Imagen de elaboración propia.

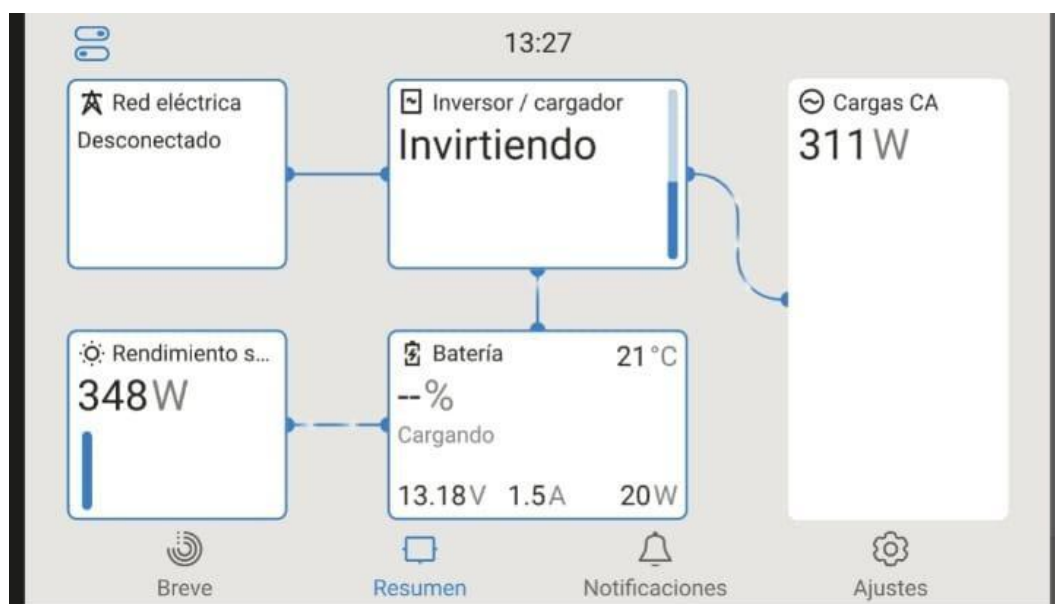
3.5 Funcionamiento del Sistema de Monitoreo y Telemetría.

El sistema de telemetría fue una de las partes más valiosas del proyecto. Con el Cerbo GX MK2 y las plataformas VRM y VictronConnect se pudo observar en tiempo real todas las variables más importantes, como voltajes, corrientes, estado de las baterías y consumo en los tomacorrientes.

Lo más destacable fue que la plataforma generó alertas automáticas cuando se detectaban situaciones como bajo nivel de batería o fallos de red y gracias a estas alertas es que se pudo actuar de manera rápida, logrando evitar o responder a tiempo a problemas más serios. De igual manera, VRM permite guardar o registrar todo un historial de datos y eventos, tal que hace comparaciones y da un mejor seguimiento del comportamiento del sistema. Esto resultó útil no solo desde el punto de vista técnico, sino también como material de apoyo para análisis posteriores y para la parte académica.

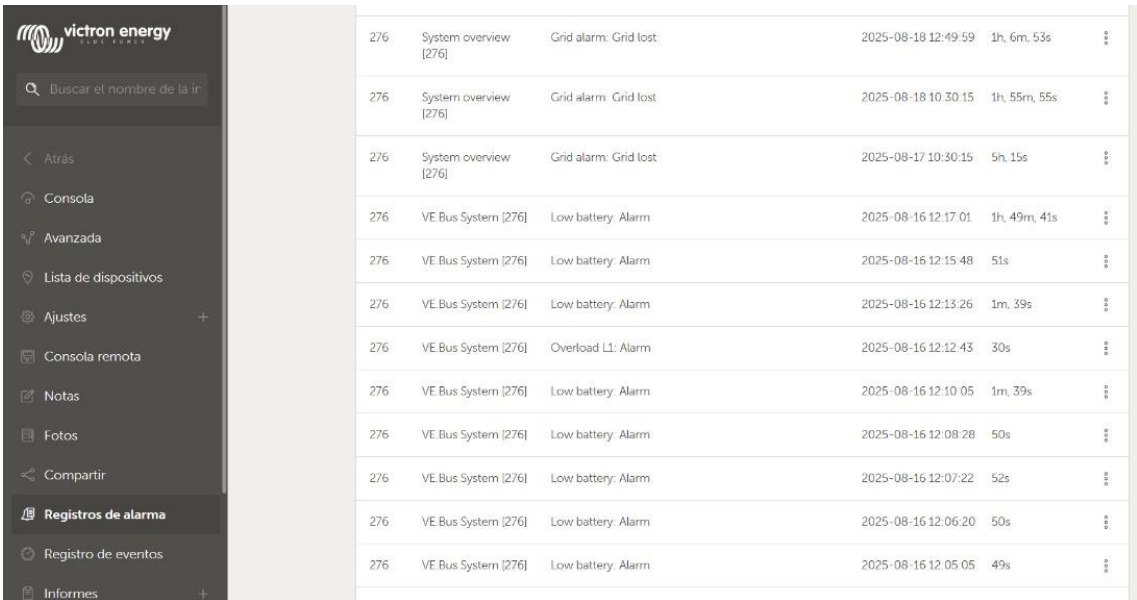
Figura 23

Consola remota. Monitorización del sistema.



Nota: Imagen de autoría propia.

Figura 24
Registro de alarmas.



276	System overview [276]	Grid alarm: Grid lost	2025-08-18 12:49:59	1h, 6m, 53s	
276	System overview [276]	Grid alarm: Grid lost	2025-08-18 10:30:15	1h, 55m, 55s	
276	System overview [276]	Grid alarm: Grid lost	2025-08-17 10:30:15	5h, 15s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:17:01	1h, 49m, 41s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:15:48	51s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:13:26	1m, 39s	
276	VE Bus System [276]	Overload L1: Alarm	2025-08-16 12:12:43	30s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:10:05	1m, 39s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:08:28	50s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:07:22	52s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:06:20	50s	
276	VE Bus System [276]	Low battery: Alarm	2025-08-16 12:05:05	49s	

Nota: Imagen de elaboración propia.

3.6 Proyección de Datos y Predicción Solar mediante VRM.

Otra herramienta interesante fue la función de proyección de energía que ofrece VRM mediante la cual tomó en cuenta los datos históricos de generación solar y los datos de pronósticos meteorológicos, dada esta información se pudo estimar la producción solar de los días venideros.

Tener una proyección ayuda a anticipar de cuándo convenía almacenar más energía o cuándo había que ser más ahorradores en el consumo, pero sobre todo en días lluviosos o nublados. Lo más destacable es que al ser una herramienta con cierto grado de "inteligencia", el sistema fotovoltaico se aproximó al concepto de red inteligente, siendo así más llamativo e interesante desde el punto de vista académico.

Figura 25

Gráfica de proyecciones solar y de consumo.



Nota: Imagen de autoría propia.

3.7 Proyección de Energía Solar y Ahorro Económico Estimado.

Con los registros obtenidos, se calculó que el sistema fotovoltaico generó un ahorro de aproximadamente \$30 al mes, tomando en cuenta una demanda cubierta de 308.4 kWh/mes. Este valor se obtuvo usando el pliego tarifario de la CNEL-EP.

Aunque no es una cifra muy grande, sí representa un alivio en los costos operativos, y si se considera en el largo plazo, el impacto es más notable. Sin embargo, este ahorro no viene solo en forma económica sino también tiene un beneficio ambiental debido a que se dejó de consumir la red eléctrica convencional.

Lo que se traduce como ahorro monetario y reducción de la huella de carbono, la cual se alinea con el ODS 7 planteado en el desarrollo del proyecto

Tabla 2 .

Pliego tarifario de CNEL

Pliego tarifario de CNEL			
Grupo de KWh	Rango de consumo en Kilovatios-hora (kWh)	Valor KWh	Valor a pagar
50	1 – 50	\$0,0910	\$4,5500

50	51 – 100	\$0,0930	\$4,6500
50	101 – 150	\$0,0950	\$4,7500
50	151 – 200	\$0,0970	\$4,8500
50	201 – 250	\$0,0990	\$4,9500
50	251 – 300	\$0,1010	\$5,0500
50	301 – 350	\$0,1030	\$5,1500
150	351 – 500	\$0,1050	–
200	501 – 700	\$0,1285	–
300	701 – 1000	\$0,1450	–
500	1001 – 1500	\$0,1709	–
1000	1501 – 2500	\$0,2752	–
1000	2501 – 3500	\$0,4360	–
–	3501 – Superior	\$0,6812	–
Valor ahorrado			\$29.6652

Nota: Tabla de elaboración propia

3.8 Análisis de Costos y Viabilidad Económica.

Tabla 3 .

Equipos utilizados

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	VALOR/U	VALOR/T
1	Paneles Solares	U	9	\$ 150	\$ 1.350,0
2	Inversor-Cargador Victron	U	1	\$ 2.800	\$ 2.800,0
3	Controlador MPPT 150/45	U	1	\$ 370	\$ 370,0
4	Baterías Gel (3x 200Ah)	U	3	\$ 600	\$ 1.800,0
5	Estructuras, Cableado, Protecciones	U	1	\$ 700	\$ 700,0
6	Cerbo GX MK2	U	1	\$ 350	\$ 350,0
7	Mano de Obra e Instalación	U	1	\$ 500	\$ 500,0
	SUB TOTAL				\$ 7.870,0
	IVA 15%				\$ 1.180,50
	TOTAL				\$ 9.050,50

Nota: Tabla de elaboración propia.

En lo económico, la inversión total del sistema fue de \$9.050,50, para lo cual se tiene un ahorro mensual de aproximadamente \$30, al año sería \$360, dado estos valores, conlleva un periodo de recuperación de alrededor de 25 años, en otras palabras, el mismo tiempo de vida útil de los paneles solares.

Con estas fechas y tiempos, el Valor Actual Neto resultó negativo (-5,157 USD) y la Tasa Interna de Retorno fue de apenas 0.4%, por lo que, si se mira únicamente desde el punto de vista financiero, el proyecto no sería rentable. Sin embargo, hay otros aspectos que justifican la inversión. Por un lado, el sistema permitió que las cargas críticas siguieran funcionando durante los apagones, lo cual es muy valioso para no interrumpir actividades importantes. Por otro lado, se redujo la dependencia de la red eléctrica convencional, se aportó a la sostenibilidad y se creó una plataforma práctica para la enseñanza y la investigación en energías renovables dentro de la universidad. Aunque los números económicos por sí solos no sean tan atractivos, el valor agregado en términos de seguridad, sostenibilidad y formación académica hace que el proyecto sea totalmente justificable.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Se comprobó que todo el sistema implementado en CIDIS-ESPOL cumplió con el objetivo principal el cual fue garantizar la continuidad de las cargas críticas durante los cortes de energía. En todos los controles realizados, el inversor reaccionó en menos de 20 milisegundos, para lo cual se volvió inapreciable el cambio de la red eléctrica al respaldo fotovoltaico. Si bien la iluminación por sí sola no es un factor determinante para evitar la suspensión de experimentos, sí contribuye a que el trabajo se realice en condiciones seguras y adecuadas. En cambio, la energía en los tomacorrientes sí fue crucial, ya que permitió mantener encendidos equipos de investigación sensibles, evitando así la pérdida de datos o la interrupción de ensayos en curso.
- El levantamiento eléctrico inicial fue una de las decisiones más relevantes, ya que permitió identificar claramente cuáles eran las cargas más importantes y definir un consumo base de 1.46 kW. Esta información sirvió como punto de partida para dimensionar de manera correcta tanto el banco de baterías como el inversor y el controlador de carga. De esta forma, se evitó la sobrecarga de los equipos, que podría haber reducido su vida útil, y también se evitó la subutilización de la energía almacenada, que habría representado una inversión desaprovechada. Esta investigación permitió un adecuado aprovechamiento del sistema y verifico la importancia de una planificación adecuada previamente a la realización de cualquier instalación fotovoltaica.
- El equipo conformado por el inversor Victron, el controlador MPPT y las baterías de gel obtuvieron un buen rendimiento global del 88%. Este valor mostró que la elección de equipos fue apropiada, debido a que disminuyeron al mínimo las pérdidas en la conversión de energía. A la vez, se comprobó que la descarga de las baterías nunca excedió el 30% en su rendimiento, respetar este límite es importante porque asegura un manejo provechoso de los acumuladores, extendiendo su durabilidad y reduciendo los gastos de sustitución. De tal manera,

la eficiencia no solo se puede manifestar en datos técnicos, sino también en una mayor rentabilidad económica y funcional del sistema.

- La integración del sistema de telemetría con el Cerbo GX MK2 y la plataforma VRM, no solo permite proyectar de forma inmediata las variables esenciales, sino que también cuando había algún riesgo este generaba alertas automáticas y almacenó un registro completo de los datos. Este seguimiento optimizó el control del sistema y permitió ejecutar de forma más rápida y eficiente. A la vez tuvo un beneficio adicional para lo académico, ya que generó la oportunidad en donde los estudiantes puedan interactuar con un sistema de energías renovables supervisado digitalmente, ayudando en su formación. La telemetría ayudó en mejorar la operación práctica y también potenció el proyecto como recursos pedagógicos ayudando así a la enseñanza de energías limpias y sistemas inteligentes.
- En base a lo económico, el análisis realizado afirmó que la inversión inicial que fue un monto de \$9.050,50 no resultó rentable en caso de evaluar solamente el ahorro en la factura eléctrica. Es importante destacar que el sistema demoraría alrededor de 25 años en recuperar su costo, tiempo que coincide con la vida útil de los paneles, con un VAN de -\$5,157 y una TIR de apenas 0.4%, este resultado estuvo influenciado parcialmente por la configuración del inversor de 12 V, la cual limitó la eficiencia en comparación con sistemas de 24 V o 48 V, ya que estos habrían disminuido las pérdidas y se podría obtener un mayor rendimiento económico. Sin embargo, el sistema fue respaldado por otras razones: resguardó equipos valiosos de investigación, evitó pérdidas de información en caso de apagones y redujo la huella de carbono ayudando así a posicionar al CIDIS-ESPOL como un espacio de innovación en energías renovables.
- Finalmente, se evidenció con este estudio que el banco de baterías de 600 Ah (3x200 Ah en paralelo, 12 V) proporcionó una autonomía de aproximadamente 3,5 horas, lo que ampliamente superó la duración promedio de los apagones en la ciudad. Este resultado que se obtuvo confirma que el sistema cumplió con los objetivos planteados, pero también entregó un margen adicional de seguridad. Aquel margen es muy valioso ya que proporciona seguridad al personal del centro

mediante apagones más prolongados, sin tener ningún problema en las cargas críticas porque estos seguirán operando.

4.2 Recomendaciones.

- Es importante implementar un protocolo de mantenimiento constante, la cual incluye la limpieza por lo menos una vez al mes de los paneles solares, para así evitar la disminución de su funcionamiento a causa de la acumulación de polvo. Asimismo, se recomienda la inspección trimestral de las conexiones eléctricas y de los parámetros del sistema a través del Cerbo GX, y una evaluación anual del monitor de baterías para que se mantengan lecturas confiables.
- En caso de que sea necesario alimentar más cargas críticas en el futuro, una buena opción sería ampliar el sistema con otro inversor Victron. Esta configuración no solo aumentaría la potencia disponible, sino que también mantendría la misma interfaz de monitoreo, lo que facilita su uso sin tener que rediseñar todo desde cero.
- El sistema, además, puede ser aprovechado más allá de lo técnico. Tiene un potencial académico bastante valioso, especialmente si se lo utiliza como plataforma de aprendizaje. Los estudiantes podrían hacer prácticas reales sobre energías renovables, almacenamiento, monitoreo y eficiencia, lo que aportaría mucho a su formación. En este sentido, el sistema funcionaría también como una especie de laboratorio en vivo.
- En base a las baterías de gel que se usaron dieron excelentes resultados, sin embargo, para futuras ampliaciones se podría analizar el uso de baterías de litio. Ya que estas tienen mayores beneficios como una mayor capacidad, una vida útil más larga y mejor respuesta en descargas profundas. Esto ayudaría a que el sistema pueda tener más durar y que los costos por reparación sean menores a largo plazo.
- El sistema contiene un monitoreo remoto, se recomienda sacar mayor provecho de la plataforma VRM para así poder establecer una gestión energética más inteligente. Un claro ejemplo, sería beneficioso programar algunos equipos para que estos funcionen cuando hay mayor generación solar y reservar las baterías

únicamente para situaciones críticas, ayudando así a utilizar la energía de forma más eficiente y alargar la vida útil del banco de baterías.

- También se considera importante llevar un registro anual de las emisiones de CO₂ evitadas porque este dato podría incluirse en informes institucionales de sostenibilidad. De esa forma, se mostraría con cifras concretas el impacto positivo que tiene el uso del sistema.
- En relación con el cableado, se aconseja implantar una estrategia de revisión periódica para así verificar el estado físico que se encuentran los conductores, sus conexiones, y que el marquillado esté claro y actualizado. Esto no solo facilita el trabajo durante el mantenimiento, sino que también mejora la seguridad para quienes interactúan con el sistema, ya sean estudiantes o técnicos.
- Para una próxima instalación del sistema, se debería tener en cuenta la utilización de un inversor con un voltaje nominal mayor, de 24 V o 48 V. Esto resultaría beneficioso ya que reducen las pérdidas de energía por efecto Joule y aumenta una mayor eficiencia general del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Afore. (2025, February 25). *Disyuntor solar: un componente esencial del sistema fotovoltaico*. Afore Energy. <https://www.aforeenergy.com/es/solar-circuit-breaker-an-essential-part-in-pv-system/>
- Alonso, J. (2025, April 11). *Instalación fotovoltaica aislada: qué es, esquema y cálculo*. Sun Fields Europe. <https://www.sfe-solar.com/instalaciones-fotovoltaicas/aislada/apagonesecuador>.
- (2024). *Cortes de luz en campus ESPOL*. <https://apagonesecuador.info/guayaquil/cortes-de-luz-en-campus-espol-guayaquil/>
- AutoSolar. (2025a). *Conexión de baterías en serie y paralelo*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/conexion-de-baterias-en-serie-y-paralelo>
- AutoSolar. (2025b). *Fusible 30A 1000VDC*. AutoSolar. <https://autosolar.es/fusibles/fusible-30a-1000vdc-10x38>
- Carrillo, B., & Castillo, E. (2023). *Protecciones para sistemas fotovoltaicos*. <https://es.scribd.com/document/641706038/Protecciones-Para-Sistemas-Fotovoltaicos>
- Correa, A., & Febres, J. (2019). *Energía solar fotovoltaica conectada a red y su impacto de implementación en las familias, la industria y la economía ecuatoriana*. [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/24620/1/Correa%20Guaman%20Angel%20Bayron.pdf>
- Espacios Críticos Design. (2021, August 17). *NFPA 70 National Electrical Code 2020*. NFPA. <https://espacioscriticosdesign.blogspot.com/2021/08/estandares-de-seguridad-en.html#:~:text=En%20el%20c%C3%B3digo%20el%C3%A9ctrico%20NFPA%2070%20versi%C3%B3n,entre%20otras%2C%20buscando%20reducir%20el%20riesgo%20el%C3%A9ctrico>
- FIMCM. (2025, March 18). *Ph.D. Franklin Ormaza advierte sobre niveles extremos de radiación solar en Guayaquil*. FIMCM-ESPOL. <https://www.fimcm.espol.edu.ec/es/noticias/phd-franklin-ormaza-advier-te-sobre-niveles-extremos-de-radiacion-solar-en-guayaquil#:~:text=Guayaquil%20enfrenta%20niveles%20alarmantes%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar,pueden%20afectar%20la%20salud%20de%20la%20pobla>

ci%C3%B3n.&text=%E2%80%9CLa%20radiaci%C3%B3n%20solar%20es%20una
%20constante%20de,suspensi%C3%B3n%20y%20la%20humedad%20atmosf%C
3%A9rica%E2%80%9D%2C%20explic%C3%B3%20Ormaza

Jiangsu DHC Environmental Si-Tech Co., L. (2024, June 10). *¿Cuáles Son las Ventajas y Desventajas del Sistema Híbrido Solar-Eólico?* Jiangsu DHC Environmental Si-Tech Co., Ltd. <https://www.dhceversaving.com/es/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-solar-wind-hybrid-system>

Kıyan, M., Bingöl, E., Melikoğlu, M., & Albostan, A. (2023). Modelling and simulation of a hybrid solar heating system for greenhouse applications using Matlab/Simulink. *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890413001222?via%3Dihub>

Legrand. (2022). CONSTRUCCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE CONJUNTOS DE CONFORMIDAD CON IEC 61439-1 y 2. *Legrand*.
<https://www.legrand.es/sites/g/files/ocwmcr651/files/2022-08/Guia-Normativas-Potencia-Legrand.pdf>

Mango, M., & Mullendore, S. (2024). *Entendiendo Solar+Almacenamiento*.
<https://www.cleangroup.org/wp-content/uploads/Entendiendo-Solar-Almacenamiento.pdf>

Moncada, B. (2024, November 15). *“Es como volver al siglo XVIII”: los apagones que tienen a Ecuador 12 horas sin luz por día*. BBC Mundo News, Ecuador.
<https://www.bbc.com/mundo/articles/c05z0vr0rneo#:~:text=%22Una%20crisis%20de%20gesti%C3%B3n%22,energ%C3%ADa%20m%C3%A1s%20respetados%20del%20pa%C3%ADs.&text=Ecuador%20enfrenta%20un%20d%C3%A9ficit%20energ%C3%A9tico,se%20resolver%C3%A1%20a%20corto%20plazo%22.&text=Pie%20de%20foto%2C%20Los%20apagones,se%20solucionar%C3%A1%20a%20corto%20plazo%22>.

Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf

NREL. (2024). Foundations of Off-Grid Solar in Haiti: 1. Basics of Electricity, Energy Access, and Off-Grid Solar. *NREL*, 8. <https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/89244.pdf>

- Puig, P., & Jofra, M. (2025). Energía solar fotovoltaica. *Revista Energía Renovables*, 02–03. http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf
- Quinapanta, J. (2024). *Optimización y monitoreo del sistema fotovoltaico de la Facultad de Ingeniería en Sistema Electrónica e Industrial* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3131fb64-32ad-4fdb-83e5-217e067715df/content>
- Ritar. (2023, September). *RA12-150. Super Charge Batteries*. <https://www.supercharge.com.au/wp-content/uploads/2023/09/RA12-150.pdf>
- Solomنيا. (2023, March 23). *¿Qué es la IEC 62548?* Solomنيا. <https://solomنيا.com/que-es-la-iec-62548/#:~:text=IEC%2062548%20es%20una%20norma,sistemas%20de%20energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica>
- Tumbaco, K., & Pantaleón, K. (2023). *Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico off grid en la zona rural de Guayaquil* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24665/1/UPS-GT004259.pdf>
- Victron Energy. (2025a). *Cerbo GX*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com.es/communication-centres/cerbo-gx>
- Victron Energy. (2025b). *MultiPlus 2000 VA*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com.es/inverters-chargers/multiplus-2000-va>
- Victron Energy. (2025c). *SmartSolar MPPT 150/35 & 150/45*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers/smartsolar-150-35>
- Victron Energy. (2025d, August). *Cerbo GX MK2*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com.es/communication-centres/cerbo-gx>
- Victron Energy. (2025e, August). *VictronConnect*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com.es/panel-systems-remote-monitoring/victronconnect>
- Victron Energy. (2025f, August). *VRM - Remote monitoring*. Victron Energy Blue Power. <https://www.victronenergy.com/panel-systems-remote-monitoring/vrm>
- Yanez, J. (2021). *Desarrollo de un sistema de telemetría para monitoreo de servicios básicos en una instalación residencial con sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica* [Tecnológico Nacional de México].

https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5140/1/003_MIE_YANEZ%20PRECIADO%20JORGE%20ALBERTO%20.pdf

Zaraeva, J. (2024, July 12). *Understanding solar panel output: Standard Test Conditions vs. Real world*. A1 Solar Store. <https://a1solarstore.com/blog/understanding-solar-panel-output-standard-test-conditions-vs.-real-world.html>