



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN

Autor: Marta Escribano Casado

Director: Iñigo Sanz Fernández

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis y propuesta de mejora energética de una instalación
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

A handwritten signature in black ink that reads "Marta". The signature is written in a cursive style with a large loop at the end.

Fdo.: Marta Escribano Casado Fecha: 18/ 06/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández Fecha: 18/ 06/ 2025

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN

Autor: Escribano Casado, Marta

Director: Sanz Fernández, Iñigo

Entidad Colaboradora: Ingenieros Sin Fronteras USA

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto analiza la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento en baterías en una escuela en Freetown, Sierra Leona. A través de un estudio exhaustivo del entorno, los consumos y los recursos disponibles, se diseña una solución energética que garantiza un suministro estable y sostenible. Los resultados muestran que, además de reducir la dependencia de la red eléctrica, el sistema propuesto contribuye directamente a mejorar la calidad educativa y las condiciones de vida de toda la comunidad escolar.

Palabras clave: Energía solar, eficiencia energética y sostenibilidad

1. Introducción

En un contexto de creciente preocupación por la sostenibilidad energética y el acceso equitativo a la energía, este proyecto se plantea como una herramienta de análisis, mejora y solución técnica aplicada a una necesidad concreta: la optimización del uso de la energía en entornos con acceso limitado, como es el caso de la Goshen Academy en Sierra Leona, cuya red eléctrica es inestable. La motivación principal radica en aprovechar el potencial de mejora energética en instalaciones específicas, adoptando un enfoque técnico y alineado con la estrategia global de transición energética. A través del uso de fuentes renovables, el proyecto busca no solo resolver deficiencias energéticas, sino también fomentar el empoderamiento local, la formación técnica y la mejora educativa. De esta manera, se destaca la relevancia social, económica y ambiental del estudio, así como el impacto directo que puede tener la ingeniería en el bienestar de las comunidades.

2. Definición del proyecto

El objetivo principal es diseñar un sistema híbrido compuesto por paneles solares, inversores y baterías de litio, capaz de cubrir completamente la demanda energética del centro. La propuesta se justifica desde múltiples dimensiones: técnica, económica, social y ambiental. Se realiza un diagnóstico de las condiciones actuales del centro, se establecen objetivos

medibles y se diseña una metodología por fases para garantizar la ejecución ordenada y viable del proyecto.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El sistema propuesto para la Goshen Academy es una instalación solar fotovoltaica híbrida, compuesta por 126 módulos solares bifaciales AFR TOPCon de 585 W, lo que proporciona una potencia total de 73,7 kW. La energía generada se gestiona mediante 9 inversores Solis S6-EH1P8K-L-PRO de 8 kW, con configuración de 2 strings por inversor (distribuidos en 2 MPPTs). El almacenamiento se realiza a través de 60 baterías de litio WECO 5K3 XP, con una capacidad total de 318 kWh, garantizando autonomía energética incluso en condiciones desfavorables. Todo el sistema ha sido diseñado y simulado con el software PVSyst, considerando el perfil de consumo real del centro, las pérdidas por sombreado y la climatología local. El sistema se instalará en el tejado del edificio primaria y del edificio abandonado del centro educativo.

4. Resultados

La simulación del sistema usando la herramienta PVSyst confirma su viabilidad técnica y eficiencia. La orientación e inclinación seleccionadas aseguran una captación solar directa desde las 7:00 hasta las 17:30 durante la mayor parte del año. La instalación, compuesta por 126 módulos solares (73,71 kWp) y 9 inversores híbridos (72 kW), alcanza una producción anual estimada de 90.865 kWh, con un rendimiento específico de 1233 kWh/kWp y un performance ratio (PR) del 65,98%.

Más del 73% de la demanda energética anual se cubre con energía solar (fracción solar), reduciendo el uso de la red nacional a un 29,2%. El 48,2% de la energía generada se consume directamente, mientras que el 51,8% se almacena en baterías, garantizando suministro nocturno y en días nublados.

En cuanto a las pérdidas del sistema, destacan las térmicas (7,3%) y por sombreado (8,5%), seguidas de pequeñas pérdidas por degradación inducida por la luz (0,7%) y por almacenamiento en baterías (2,2% al cargar, 1,6% al descargar). El sombreado es moderado y se concentra en las primeras y últimas horas del día, sin comprometer el rendimiento global. El sistema fue modelado de forma conservadora, simulando los paneles en una sola superficie continua y con separación entre filas, para compensar posibles obstáculos no representados.

A largo plazo, se estima una vida útil de los paneles de entre 25 y 30 años, con una degradación anual de 0,4%. Las baterías y los inversores requerirán sustitución alrededor del año 15, lo que ya está previsto en el plan de sostenibilidad económica del proyecto.

5. Conclusiones

El proyecto ha cumplido de forma satisfactoria con los objetivos planteados, logrando diseñar un sistema solar con almacenamiento en baterías adaptado a las necesidades reales de la Goshen Academy. Aunque las limitaciones de espacio impidieron cubrir el 100% de la demanda energética potencial, se logró un equilibrio adecuado mediante una selección rigurosa de equipos esenciales, sin comprometer la calidad educativa ni operativa del centro.

Desde el punto de vista económico, se estableció un modelo de financiación y mantenimiento sostenible, que reduce la dependencia de la red eléctrica y asegura su viabilidad a largo plazo. En el plano social, la electrificación de la escuela supone una mejora en la seguridad y el acceso a la educación, alineándose además con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Metodológicamente, el enfoque combinado de cálculos preliminares manuales y simulación con software especializado nos permitió validar con precisión la viabilidad técnica del sistema propuesto. De cara al futuro, se plantean líneas de mejora como la venta del excedente energético, la ampliación del sistema de almacenamiento y la exploración de nuevos espacios para aumentar la capacidad instalada y cubrir futuras demandas.

ANALYSIS AND ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL FOR AN INSTALLATION

Author: Escribano Casado, Marta

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo

Collaborating Entity: Engineers Without Borders USA

PROJECT ABSTRACT

This project analyses the technical and economic feasibility of implementing a photovoltaic solar system with battery storage in a school located in Freetown, Sierra Leone. Through a thorough assessment of the site, energy consumption, and available resources, a solution was designed to ensure a stable and sustainable power supply. The results demonstrate that, in addition to reducing dependence on the national grid, the proposed system directly contributes to enhancing the educational quality and living conditions of the entire school community.

Keywords: Solar energy, energy efficiency and sustainability

1. Introduction

In the context of growing concern for energy sustainability and equitable access to electricity, this project is presented as a tool for analysis, improvement, and technical solution applied to a specific need: optimising energy use in environments with limited access, such as the Goshen Academy in Sierra Leone, which suffers from an unstable electricity supply. The main motivation lies in leveraging the potential for energy improvement in targeted installations, following a technically sound approach aligned with the global energy transition strategy. By promoting renewable energy sources, the project not only seeks to address energy deficiencies but also aims to foster local empowerment, technical training, and educational advancement. The study underscores the social, economic, and environmental significance of the intervention, and the tangible impact engineering can have on the community's wellbeing.

2. Project definition

The primary objective is to design a hybrid system composed of solar panels, inverters, and lithium batteries, capable of fully covering the school's energy demand. The proposal is justified across multiple dimensions: technical, economic, social and environmental. A detailed diagnosis of the current conditions of the school was carried out, measurable

objectives were set, and a phased methodology was designed to ensure the orderly and feasible implementation of the project.

3. Description of Model/System/Tool

The system proposed for Goshen Academy is a hybrid photovoltaic solar installation, consisting of 126 AFR TOPCon bifacial solar modules of 585 W each, resulting in a total installed capacity of 73.7 kW. The generated energy is managed through 9 Solis S6-EH1P8K-L-PRO inverters of 8 kW, each configured with 2 strings distributed across 2 MPPTs. Energy storage is handled by 60 WECO 5K3 XP lithium batteries, providing a total capacity of 318 kWh and ensuring energy autonomy even under unfavourable conditions. The entire system was designed and simulated using PVSyst software, accounting for the school's actual consumption profile, shading losses, and local climate data. The installation will be deployed on the rooftops of the primary school building and the adjacent disused building.

4. Results

The simulation conducted using PVSyst confirms both the technical feasibility and efficiency of the system. The selected orientation and tilt angles ensure direct solar capture from 07:00 to 17:30 for most of the year. The system, consisting of 126 solar modules (73.71 kWp) and 9 hybrid inverters (72 kW), is expected to produce 90,865 kWh annually, with a specific yield of 1233 kWh/kWp and a performance ratio (PR) of 65.98%.

Over 73% of the school's annual energy demand will be covered by solar energy (solar fraction), reducing reliance on the national grid to just 29.2%. Of the total solar energy generated, 48.2% is consumed directly, while 51.8% is stored in batteries, ensuring energy availability during nighttime and cloudy periods.

System losses are mainly thermal (7.3%) and due to shading (8.5%), followed by minor losses from light-induced degradation (0.7%) and battery inefficiencies (2.2% during charging, 1.6% during discharging). Shading is moderate and occurs primarily during early morning and late afternoon, with minimal impact on overall system performance. The design adopted a conservative modelling approach, simulating all panels on a continuous surface with spacing between rows to account for potential obstructions.

In the long term, the panels are estimated to have a useful life of 25 to 30 years, with an annual degradation rate of 0.4%. Batteries and inverters will require replacement around year 15, a factor already considered in the project's financial sustainability plan.

5. Conclusion

The project has successfully met its objectives, resulting in the design of a solar system with battery storage tailored to the actual needs of Goshen Academy. Despite spatial limitations that prevent full coverage of the potential energy demand, an effective balance was achieved by carefully selecting essential devices, without compromising the school's educational or operational quality.

Economically, a sustainable financing and maintenance model was developed to reduce dependency on the national grid and ensure long-term viability. Socially, electrifying the school improves safety and access to education, while aligning with several Sustainable Development Goals (SDGs).

Methodologically, the combination of manual pre-design calculations with specialised simulation software allowed for precise validation of the system's technical feasibility. Looking ahead, improvement pathways include selling surplus energy, expanding the storage system, and exploring new spaces for additional solar panel installation to meet future energy demands.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Motivación del proyecto.....	6
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	8
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	10
3.1 Sistemas solares sin almacenamiento en baterías.....	10
3.2 Sistemas de baterías sin generación solar.....	11
3.3 Generadores diésel y gasolina	12
3.4 Energía eólica e hidráulica	13
3.5 Sistema solar fotovoltaico con baterías para almacenamiento	14
Capítulo 4. Definición del Trabajo	16
4.1 Justificación.....	16
4.1.1 Fundamentación técnica: Autonomía y fiabilidad energética.....	16
4.1.2 Viabilidad económica: rentabilidad y modelo de sostenibilidad	17
4.1.3 Historial favorable y replicabilidad comprobada.....	17
4.1.4 Impacto social, ambiental y alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	18
4.2 Objetivos	18
4.3 Metodología.....	21
4.4 Planificación y Estimación Económica.....	24
Capítulo 5. Sistema/Modelo Desarrollado.....	26
5.1 Análisis del Sistema	26
5.1.1 Contexto.....	26
5.1.2 Entrevistas con docentes del centro	27
5.1.3 Descripción de la infraestructura.....	28
5.1.4 Descripción del sistema eléctrico.....	30
5.1.5 Datos de interés.....	31
5.2 Cálculos y diseño.....	40
5.2.1 Cálculos de carga.....	40
5.2.2 Dimensionamiento del sistema.....	47

5.2.3 Tejado e inclinación óptima	55
5.2.4 Sistema de contrapeso	56
5.2.5 Esquema del sistema.....	56
5.3 Implementación.....	56
5.3.1 Cronograma	57
5.3.2 Mantenimiento.....	58
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	60
6.1 Comprobación de inclinación y azimut escogidos	60
6.2 Balances y resultados principales.....	61
6.3 Pérdidas	63
6.4 Sombreado y disposición de paneles.....	64
6.5 Vida útil de los elementos	66
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	68
Capítulo 8. Bibliografía.....	71
ÍNDICE DE ANEXOS.....	76

Índice de figuras

Ilustración 1. Inicio y duración de las fases (Elaboración propia)	24
Ilustración 2. Ubicación del emplazamiento (EWB USA).....	28
Ilustración 3. Vista aérea de las instalaciones (EWB USA).....	28
Ilustración 4. Plano de los edificios del colegio (EWB USA).....	29
Ilustración 5. Promedio diario GHI de agosto (Elaboración propia).....	33
Ilustración 6. Cálculo de la estimación del número de bombillas (Elaboración propia).....	41
Ilustración 7. Cálculos de carga para los paneles solares (Elaboración propia).....	44
Ilustración 8. Cálculo de carga para las baterías (Elaboración propia)	46
Ilustración 9. Pestaña de orientación en PVSyst (Simulación PVSyst)	55
Ilustración 10. Esquema unifilar del sistema (Simulación PVSyst).....	56
Ilustración 11. Diagrama de altura y azimut PVSyst (Simulación PVSyst).....	60
Ilustración 12. Tabla de balances energéticos PVSyst (Simulación PVSyst)	62
Ilustración 13. Diagrama de Sankey PVSyst (Simulación PVSyst).....	63
Ilustración 14. Disposición de los paneles para la simulación de sombreado (Simulación PVSyst).....	65
Ilustración 15. Diagrama de iso-sombreados (Simulación PVSyst)	66
Ilustración 16. Simulación a 30 años PVSyst (Simulación PVSyst).....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Metodología a emplear (Elaboración propia).....	24
Tabla 2. Tabla final de materiales: unidades y costes (Elaboración propia).....	24
Tabla 3. Irradiancia global horizontal por mes en Sierra Leona (Meteonorm).....	31
Tabla 4. Promedio diario GHI Clearsky para el mes de agosto (NSRDB)	33
Tabla 5. Temperaturas medias mensuales en Sierra Leona (Meteonorm)	35
Tabla 6. Horario de la jornada escolar en Goshen Academy (Goshen Academy)	36
Tabla 7. Horario de uso de los aparatos electrónicos (Elaboración propia).....	38
Tabla 8. Selección final del número de unidades de los aparatos electrónicos (Elaboración propia).....	41
Tabla 9. Factores de arranque para los aparatos electrónicos (Solarweb).....	43
Tabla 10. Características del inversor S6-EH1P8K-L-PRO (Ginlong Technologies, Solis)	47
Tabla 11. Características paneles 585W N-TOPCon (African Energy).....	48
Tabla 12. Configuración final del sistema (Elaboración propia).....	52
Tabla 13. Coeficientes de temperatura de los paneles 585W N-TOPCon (African Energy)	53
Tabla 14. Cronograma de la fase de implementación (Elaboración propia)	57
Tabla 15. Resumen de conclusiones (Elaboración propia)	70

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como propósito presentar una propuesta de mejora energética para una instalación educativa que actualmente enfrenta serias limitaciones de acceso a una fuente de energía fiable. Se trata de una escuela llamada Goshen Academy, situada en la comunidad de Rokel, en Freetown, Sierra Leona, donde debido a la falta de una energía estable, se propone la implementación de un sistema solar fotovoltaico mayormente autónomo y que sea capaz de reducir la dependencia actual de la red.

Aunque la escuela está conectada al suministro eléctrico nacional, actualmente enfrenta graves deficiencias energéticas. La red es sumamente inestable, con cortes frecuentes que afectan al funcionamiento básico del centro, desde la iluminación hasta los ordenadores o ventiladores. Estas limitaciones energéticas repercuten directamente tanto en la calidad de la enseñanza como en la seguridad de los estudiantes y el personal docente del centro.

Ante este desafío, la propuesta consiste en la instalación de un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento en baterías, que permita a la escuela generar y almacenar su propia energía de manera sostenible. El sistema incluirá la colocación de paneles solares, baterías de almacenamiento, un inversor y todo el cableado e infraestructura eléctrica para garantizar un suministro continuo.

Más allá de resolver los problemas técnicos actuales de la instalación, esta iniciativa busca promover un modelo de desarrollo sostenible, la eficiencia energética y contribuir al empoderamiento de la comunidad local. Además, se espera que este proyecto sirva de ejemplo para otras instituciones que enfrentan desafíos similares, donde los problemas de acceso a la energía eléctrica limitan seriamente su desarrollo a nivel educativo y social.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto nace como respuesta a una necesidad concreta y urgente: mejorar el acceso a la energía en un entorno que actualmente presenta graves deficiencias en su suministro eléctrico. Se ha seleccionado como instalación la Goshen Academy, por ser representativa de los desafíos energéticos a los que se enfrentan muchas otras escuelas en países en contexto de desarrollo. Esta elección responde tanto a la magnitud de sus necesidades no cubiertas como al potencial transformador que una mejora energética podría tener.

El planteamiento del proyecto parte de una realidad evidente: la limitación en el acceso a la electricidad impacta de forma directa en la calidad de la educación que se puede ofrecer a los alumnos del centro. En la actualidad, la inestabilidad del suministro eléctrico impide el uso de equipos informáticos, reduce considerablemente la iluminación en aulas y espacios comunes y limita la realización de actividades fuera del horario escolar, especialmente en horario nocturno. Esta situación compromete el desarrollo educativo integral de más de un centenar de estudiantes, así como las condiciones laborales del profesorado y demás personal del centro.

Ante este escenario, la intervención propuesta no solo busca dar solución al problema técnico existente, sino que aspira a generar una mejora sustancial en las condiciones de aprendizaje, seguridad y bienestar de toda la comunidad escolar.

Un aspecto fundamental de la propuesta es su enfoque hacia la sostenibilidad a largo plazo. Más allá de cubrir una necesidad funcional, el proyecto cobra sentido como una iniciativa que puede transformar la relación de la comunidad con el uso y la gestión de la energía. Se contempla la instalación de un sistema solar fotovoltaico con baterías, diseñado específicamente para satisfacer tanto las demandas energéticas actuales como las futuras del colegio. Esto supone un avance significativo desde la dependencia de soluciones temporales e ineficientes hacia un modelo prácticamente autosuficiente basado en fuentes renovables.

Asimismo, el proyecto incluye una componente formativa esencial: los estudiantes participantes, a través de la organización de Ingenieros Sin Fronteras, se encargarán de

capacitar al personal del centro y a miembros de la comunidad local en la operación y el mantenimiento del sistema. Esta transferencia de conocimiento busca empoderar a los actores locales, fortaleciendo sus capacidades técnicas y garantizando la sostenibilidad del sistema más allá de la intervención inicial.

Como se ha comentado anteriormente, la situación que enfrenta la Goshen Academy no es excepcional. Muchas otras instituciones educativas en el continente africano atraviesan condiciones similares, lo que refuerza la motivación de este proyecto. Por ello, se ha concebido como un modelo replicable que, en caso de obtener resultados positivos, pueda ser adaptado a otras escuelas con características y necesidades semejantes.

Desde una perspectiva personal, participar en el desarrollo de este proyecto ha supuesto una experiencia profundamente enriquecedora que ha dado dirección y sentido a mi Trabajo de Fin de Grado. No se ha tratado únicamente de aplicar conocimientos técnicos adquiridos durante la formación académica, sino de ponerlos al servicio de una causa real y significativa. Saber que el trabajo realizado puede contribuir directamente a mejorar las condiciones de vida y de aprendizaje de una comunidad concreta ha sido un gran estímulo. Esta experiencia me ha permitido establecer un vínculo claro entre la formación en ingeniería y valores como la solidaridad, la sostenibilidad y el compromiso social. Además, ha reforzado mi admiración por proyectos que buscan un equilibrio entre la eficiencia técnica y el beneficio colectivo, demostrando que la tecnología puede y debe estar al servicio del bien común.

En definitiva, se trata de una propuesta de mejora energética con un enfoque integral y un fuerte componente transformador, tanto a nivel técnico como humano.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

1. La herramienta principal que se usará para la simulación del sistema será PVSyst. Durante su proceso de diseño y simulación se emplearán distintas funcionalidades dentro del software:
 - Orientación – se definirá la inclinación y el azimut para optimizar la captación solar según la ubicación geográfica del centro.
 - Sistema – se configurará el sistema como híbrido con conexión a la red y almacenamiento en baterías, adaptando los valores a las necesidades de carga del centro.
 - Pérdidas detalladas – se analizarán todas las pérdidas energéticas, incluyendo temperatura, sombreado, suciedad, cables, inversores, ...
 - Autoconsumo – se modelará el perfil de consumo del centro para determinar cuánta energía se podrá utilizar de forma instantánea de los paneles, sin la necesidad de usar el almacenamiento de las baterías.
 - Almacenamiento – se introducirá la configuración del banco de baterías.
 - Horizonte – definiremos también el perfil del horizonte según las coordenadas geográficas del emplazamiento para calcular las pérdidas por sombreado lejano.
 - Sombreados cercanos – se modelará también la configuración de los paneles para considerar los obstáculos próximos y ver cuál es su impacto en el sistema.
2. A la hora de calcular la temperatura de célula, para comprobar los rangos de voltaje, consideraremos dos cosas importantes. En primer lugar, las Condiciones Estándar de Prueba (STC), que son unos parámetros definidos internacionalmente que sirven como referencia para comparar el rendimiento de distintos módulos fotovoltaicos. Estas condiciones son las siguientes:
 - Irradiancia solar = 1000 W/m²
 - Temperatura de célula = 25 °C

Estas son las condiciones que usan los fabricantes para determinar la potencia pico nominal (W_p), la tensión en circuito abierto (V_{oc}), la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y otros parámetros relevantes. Sin embargo, estos valores no son representativos de las condiciones de operación real. Por ello, usaremos mejor las condiciones NMOT (Temperatura Nominal de Operación de Módulo). Estas se definen con los siguientes parámetros:

- Irradiancia = 800 W/m²
- Temperatura ambiente = 20 °C

Con estos valores calcularemos la temperatura estimada de panel solar (célula) en condiciones reales con la siguiente fórmula:

$$T_{panel\ solar} = T_{ambiente} + \left(\frac{NMOT - 20}{80} \right) * S$$

3. Se considerará también la normativa NEC para sistemas fotovoltaicos para asegurar el cumplimiento normativo del sistema:
 - NEC 690.8(B)(1): Cálculo de la corriente máxima para sistemas fotovoltaicos.
 - NEC 690.8(A)(1) y (2): Dimensionamiento de conductores fotovoltaicos considerando condiciones de temperatura y factores de corrección.
 - NEC 340.80: Límites de temperatura admisibles en los cables eléctricos utilizados.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La falta de un suministro eléctrico estable y confiable es un desafío frecuente en numerosas escuelas de África Occidental. En el caso específico de Goshen Academy, aunque cuenta con conexión a la red nacional, sufre interrupciones frecuentes y prolongadas en el servicio. Por esta razón, se han llevado a cabo diversos estudios enfocados en identificar posibles soluciones energéticas sostenibles. En el siguiente apartado, se presenta una revisión de las principales alternativas tecnológicas evaluadas para dotar a nuestra instalación de un sistema de electrificación adecuado. Se expondrán las principales ventajas y desventajas de cada una de las alternativas consideradas, y posteriormente se justificará la selección de la opción más adecuada para el desarrollo de este proyecto

3.1 SISTEMAS SOLARES SIN ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS

En primer lugar, se consideró la implementación de un sistema solar sin almacenamiento de baterías. Esta opción se compone únicamente de paneles solares que son capaces de generar energía durante las horas del día en las que hay irradiación solar suficiente. Su funcionamiento directo y sencillo se traduce en un coste inicial notablemente más bajo, aproximadamente un 30% menor en comparación con sistemas que incorporan baterías. Además, requiere de un mantenimiento mínimo, que se limita principalmente a la limpieza periódica de los paneles. Este tipo de solución ha resultado ser eficaz en aplicaciones puntuales, como son la iluminación diurna y el bombeo de agua.

No obstante, la principal limitación de este sistema radica en su incapacidad de almacenar la energía, lo que impide su uso durante la noche, en días nublados o durante episodios prolongados de baja radiación solar. Esta falta de continuidad energética hace que sea una alternativa vulnerable en contextos donde las interrupciones del suministro eléctrico nacional son frecuentes, como es el caso de muchas regiones del contexto africano. En zonas tropicales, se estima que la nubosidad estacional puede generar pérdidas de entre el 15% y

el 20% en la producción de energía solar. En el año 2019, la asociación de Ingenieros sin Fronteras (EWB USA) reveló que el 68% de las escuelas equipadas con este tipo de sistemas tuvieron que suspender sus actividades nocturnas por falta de electricidad. De forma similar, en Kenia, un informe de la “Renewable Energy Policy Network” de 2021 señaló que el 45% de estas instalaciones requirieron generadores de apoyo, lo que acabó elevando significativamente los costes operativos.

Más allá de estas limitaciones técnicas, este tipo de sistemas presenta impactos negativos en la calidad educativa, al restringir el uso de tecnologías para la enseñanza como son ordenadores, proyectores o laboratorios, que requieren de disponibilidad energética durante todo el día. Aunque evitan el uso de baterías contaminantes, la necesidad de contar con el apoyo de generadores a base de combustibles fósiles contradice los principios de sostenibilidad que suelen motivar la adopción de esta alternativa de energía solar. La ausencia de capacidad de almacenamiento también reduce considerablemente la flexibilidad del sistema en caso de incrementos en la demanda energética, por lo que limita la adaptación del sistema a futuras ampliaciones. Es por ello por lo que se considera que otras tecnologías ofrecen soluciones más competitivas y sostenibles capaces de garantizar un suministro energético continuo incluso en condiciones de clima adversas.

3.2 SISTEMAS DE BATERÍAS SIN GENERACIÓN SOLAR

Los sistemas de almacenamiento energético basados únicamente en baterías, sin generación solar asociada, consisten en la instalación de baterías que se cargan exclusivamente a partir de la red eléctrica. Lo que permite esta configuración es disponer de energía almacenada para su uso en caso de cortes de suministro o en horas donde la demanda sea mayor.

Una de las principales ventajas de estos sistemas es su capacidad para proporcionar respaldo inmediato durante breves interrupciones en la red, lo cual es muy útil en zonas donde los cortes de energía son repentinos y de corta duración. Además, al no depender de condiciones climáticas, tiene un funcionamiento predecible y constante, siempre que la red eléctrica esté disponible.

Sin embargo, esta opción cuenta con significativas desventajas. En primer lugar, al tener una dependencia total de la red eléctrica, se vuelven ineficaces en contextos donde las interrupciones son prolongadas. Este es el caso en ciertas zonas de Sierra Leona, donde los apagones pueden durar hasta ocho horas diarias. Hay que considerar también el elevado coste de estos sistemas, se estima aproximadamente \$0,35 por kWh, en comparación con los \$0,12 por kWh de los sistemas híbridos que combinan generación solar y almacenamiento.

Existen varios estudios de caso que reflejan estas limitaciones. En la India, un análisis del “Council on Energy, Environment and Water” en 2020, evidenció que estos sistemas no redujeron las emisiones de CO₂. Aunque permiten almacenar energía, no garantizan una mejora ambiental si la electricidad proviene de fuentes contaminantes, ya que se mantiene la dependencia de redes termoeléctricas. En contextos donde lo que se busca es avanzar hacia modelos más sostenibles, esta solución resulta poco coherente con los objetivos ambientales del proyecto. Experiencias como esta ofrecen una advertencia útil para otros países, como Sierra Leona, que cuentan con redes eléctricas inestables y dependientes de combustibles fósiles. El uso de baterías no implica una transición energética real en este caso. Destaca también un proyecto de la Universidad Marquette en 2019 en Guatemala que mostró que el 72% de las baterías instaladas sin soporte solar fallaron en dos años debido a sobrecargas de red.

Por lo tanto, de esta alternativa podemos decir que, aunque las baterías sin generación solar pueden llegar a ser útiles en contextos específicos donde existen redes eléctricas fiables y cortes esporádicos, no son óptimas en el caso de nuestra instalación debido a que cuenta con un suministro eléctrico inestable y unos objetivos de sostenibilidad muy marcados.

3.3 GENERADORES DIÉSEL Y GASOLINA

Se evaluó también la opción de utilizar generadores diésel o de gasolina como fuente principal de energía. Estos equipos ofrecen la ventaja de una implementación rápida, pudiendo estar operativos en cuestión de horas, a diferencia de sistemas renovables que

pueden requerir de semanas. Además, los generadores diésel son conocidos por su eficacia y durabilidad, siendo capaces de manejar cargas pesadas sin sobrecalentarse ni deteriorarse.

Sin embargo, este tipo de generadores presentan desventajas significativas. En primer lugar, los costes operativos son elevados. Se estima aproximadamente \$0,40 por kWh en el contexto africano. Además, su funcionamiento implica emisiones de dióxido de carbono de 2,6 kg por litro de combustible consumido, lo que contribuye al cambio climático. También generan niveles de ruido que pueden alcanzar los 75 decibelios, lo que afecta negativamente al entorno escolar. Como se pudo observar en Sierra Leona en 2023, cuando los precios aumentaron un 30%, la dependencia de los combustibles fósiles expone al centro a una gran vulnerabilidad frente a posibles fluctuaciones del mercado.

Estudios de caso reflejan estas limitaciones. En Nigeria, una investigación que se realizó en 50 escuelas por la Universidad de Lago en el año 2022 reportó que el 78% de ellas abandonaron el uso de este tipo de generadores a los 24 meses debido a su insostenibilidad económica. En Haití, la ONU documentó que el 65% de los generadores en escuelas de carácter rural presentaron diversos fallos mecánicos en 18 meses por falta de mantenimiento.

Por último, cabe destacar que el uso de generadores diésel o de gasolina no se alinea con los principios de sostenibilidad ni con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) debido a su impacto ambiental. Por estas razones, concluimos que esta opción no es la adecuada para un proyecto como este que busca una solución energética sostenible y que respete el medio ambiente.

3.4 ENERGÍA EÓLICA E HIDRÁULICA

En cuanto a la energía eólica e hidráulica como posibles soluciones energéticas renovables para nuestra instalación, podemos decir que ofrecen ciertas ventajas significativas en aquellas zonas donde los recursos naturales permiten la generación de una energía limpia y sostenible.

Sin embargo, en nuestro caso, las condiciones geográficas específicas de Freetown dificultan considerablemente la implementación de esta alternativa. En el caso de la energía eólica, la velocidad media anual del viento es de aproximadamente 3,8 m/s, que es inferior a los 4,5 m/s para que las turbinas comerciales operen de manera eficiente. Además, la instalación y el mantenimiento de estas turbinas eólicas requieren de una infraestructura muy costosa y un nivel de especialización que no está disponible actualmente en la comunidad local.

En cuanto a la energía hidráulica, la ausencia de fuentes de agua estables en zonas cercanas a Rokel limita la viabilidad de esta opción, sobre todo debido a la variabilidad estacional de los caudales. Cabe destacar que, aun siendo posible la implementación de microturbinas hidráulicas, los costes de infraestructura serían muy elevados y por lo tanto inasumible para el centro educativo.

Varios casos en regiones similares respaldan estas conclusiones. Por ejemplo, en Malawi, un proyecto realizado en 2021 por EWB-UK, utilizó turbinas eólicas de 5kW. Su eficiencia resultó ser del 22%, en comparación con el 75% que pueden llegar a ofrecer sistemas solares. En Filipinas, un estudio que llevó a cabo el “Asian Development Bank” en el año 2020 reportó el 60% de las microturbinas hidráulicas estudiadas fracasaron debido a las variaciones estacionales en los caudales de agua de la zona.

En conclusión, podemos decir que, aunque la energía eólica y la hidráulica pueden ser muy beneficiosas en contextos específicos, las condiciones geográficas y económicas de Freetown y sus alrededores no favorecen su implementación.

3.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CON BATERÍAS PARA ALMACENAMIENTO

Finalmente, se consideró la instalación de un sistema solar fotovoltaico con baterías, al considerarse una alternativa muy adecuada para garantizar un suministro energético estable, autónomo y sostenible para el centro. La solución propuesta consiste en la combinación de paneles solares ubicados sobre el tejado del edificio del colegio, un sistema de

almacenamiento mediante baterías de litio, un inversor y todo el cableado necesario. En su conjunto, este sistema está diseñado para cubrir de forma integral las necesidades energéticas del colegio, incluyendo la iluminación de las aulas, el uso de ventiladores y de otros dispositivos electrónicos, con especial énfasis en que todo esto pueda funcionar también durante la noche y en días nublados.

La implementación de un sistema híbrido solar con baterías en Goshen Academy representa una solución energética fiable y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que garantiza la continuidad de las actividades educativas y mejora la calidad de vida de la comunidad escolar. En el siguiente capítulo, se justificará más en detalle la elección de esta alternativa.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Frente a la carencia de un suministro eléctrico fiable en la Goshen Academy, se valoraron múltiples tecnologías energéticas. Tras el análisis comparativo exhaustivo presentado anteriormente, desde los ámbitos ambiental, económico, social y técnico, se determinó que la solución óptima era la instalación de un sistema híbrido compuesto por paneles solares fotovoltaicos y baterías de almacenamiento. Esta alternativa no solo resuelve las limitaciones energéticas actuales del centro escolar, sino que establece un modelo replicable, escalable y sostenible a largo plazo. A continuación, se detallan las razones que justifican su elección.

4.1.1 FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA: AUTONOMÍA Y FIABILIDAD ENERGÉTICA

Entre sus principales ventajas destaca que, gracias a su forma de operar, aumentamos considerablemente la independencia del colegio de la red eléctrica nacional, lo que resulta fundamental en este contexto donde el suministro público es poco fiable. El sistema ofrece una disponibilidad continua gracias al respaldo proporcionado por las baterías, que permite mantener las actividades escolares sin interrupciones, incluso ante variaciones en la irradiación solar. El sistema está diseñado para cubrir la carga crítica durante las horas sin sol, incluso en meses cuando la irradiación solar es mínima.

Nuestro sistema estará compuesto por tecnologías de alto rendimiento que van a garantizar su eficiencia, fiabilidad y autonomía. El inversor Solis S6-EH1P8K-L-PRO que vamos a usar es capaz de soportar cargas del 200% y permite una carga rápida de baterías gracias a su alta corriente de hasta 190 A, además de contar con protecciones avanzadas. Por otro lado, las baterías de litio WECO 5K3 XP destacan por su profundidad de descarga del 100% y su capacidad de operar en condiciones extremas, ofreciendo más de 8000 ciclos de vida útil. Por último, hay que destacar los paneles bifaciales AFR TOPCon que, al captar luz por dos

caras, son capaces de generar más energía y mantener un rendimiento óptimo incluso cuando el clima no es favorable.

4.1.2 VIABILIDAD ECONÓMICA: RENTABILIDAD Y MODELO DE SOSTENIBILIDAD

Aunque el coste total inicial de estos sistemas puede ser elevado, se pretenden establecer mecanismos de financiación mediante organizaciones no gubernamentales y la aportación de la comunidad y los alumnos. Su diseño permite reducir casi por completo los costes operativos a lo largo del tiempo y por lo tanto permitirá una recuperación de la inversión más rápida.

Al generar y almacenar su propia energía, la independencia económica del centro aumenta, lo que les permite protegerse ante subidas en las tarifas eléctricas, algo esencial en el contexto actual de alta inflación energética. Las baterías son capaces de almacenar casi todo el excedente que no se consume en tiempo real, por lo que se evitan grandes desperdicios. En un sistema sin baterías, esta energía se desaprovecharía por completo o se inyectaría a la red por un valor menor que el precio de compra. Incluso, si en algún momento el centro reduce su demanda energética, se plantea que el exceso de energía almacenada pueda venderse a terceros para generar ingresos adicionales.

Además, estos sistemas cuentan con requerimientos mínimos de mantenimiento, lo que también favorecerá al centro desde un punto de vista económico. Para mitigar sus complejidades técnicas, se pretende capacitar al personal local en operación y mantenimiento a través de manuales y una formación.

4.1.3 HISTORIAL FAVORABLE Y REPLICABILIDAD COMPROBADA

Esta decisión está respaldada por experiencias previas que han resultado exitosas. Los alumnos de North Carolina State University del equipo de Ingenieros Sin Fronteras (EWF-USA), desarrollaron un proyecto similar en la Dele School, escuela situada también en la zona de Freetown. En este proyecto, la implementación de un sistema solar con baterías permitió alcanzar la independencia energética y mejorar significativamente sus condiciones

de enseñanza. Esta experiencia ha servido de forma directa como referencia para la propuesta en la Goshen Academy. A nivel internacional, Ingenieros Sin Fronteras (EWB-USA) ha promovido sistemas comparables en entornos rurales de Uganda y Guatemala, con resultados igual de positivos a nivel técnico y de impacto en la comunidad.

Si bien se valoran las experiencias pasadas positivas previas como base, nuestro enfoque se orienta también hacia el futuro. Esta propuesta pretende conseguir un diseño flexible que permita adaptaciones, tanto en capacidad como en configuración eléctrica, para facilitar su posible implementación en otras zonas con características similares.

4.1.4 IMPACTO SOCIAL, AMBIENTAL Y ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Esta alternativa no solo cumple con los requisitos técnicos y económicos establecidos, sino que también responde a criterios de sostenibilidad ambiental y tiene un fuerte componente de impacto social, al permitir el acceso continuado a la educación, mejorar la calidad del entorno escolar y empoderar a la comunidad mediante su formación técnica. Contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases contaminantes y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el siguiente apartado, se desarrollarán en detalle los objetivos específicos que orientan y justifican esta propuesta.

4.2 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto reflejan una visión integral que abarca dimensiones educativas, económicas, sociales, medioambientales y técnicas.

A nivel técnico, el diseño del proyecto pretende cumplir con los requerimientos específicos expresadas por la escuela en cuanto al uso de ciertos dispositivos electrónicos, buscando no solo satisfacer sus necesidades sino también electrificar completamente el edificio. Para conseguir esto, instalaremos un sistema con suficiente potencia y capacidad de almacenamiento que nos garantice un suministro estable incluso de noche o en días nublados.

Desde el punto de vista educativo, se pretende mejorar las condiciones de aprendizaje en la Goshen Academy, facilitando el acceso a herramientas digitales, como ordenadores y proyectores, y garantizando una iluminación adecuada en las aulas. Estas mejoras permitirán ampliar el horario de uso del centro más allá del periodo lectivo habitual, posibilitando actividades de refuerzo escolar, programas extracurriculares y clases nocturnas dirigidas también a personas adultas. Además, el centro podrá promover una cultura energética responsable, impartiendo sesiones formativas sobre uso y gestión eficiente de la energía dirigidas tanto a estudiantes como a otros miembros de la comunidad.

En cuanto al ámbito económico, uno de los objetivos fundamentales es reducir la dependencia del centro de la red eléctrica nacional inestable y costosa. Con la instalación de este sistema solar híbrido con baterías, se prevé un funcionamiento continuo con costes operativos mínimos una vez puesto en marcha. Se establecerá un modelo económico sostenible que permita cubrir exclusivamente los gastos de mantenimiento mediante aportaciones anuales de la familias y actividades productivas impulsadas desde el colegio. Además, se pretende recuperar la inversión totalmente para compensar por el elevado coste inicial que supone la instalación del sistema y planear que en un futuro se pueda vender la energía sobrante para aumentar la rentabilidad de la instalación.

Desde una perspectiva social, el sistema eléctrico propuesto mejorará la seguridad del recinto escolar gracias a la disponibilidad de iluminación exterior y en espacios públicos durante las horas nocturnas. Asimismo, se busca empoderar a la comunidad a través de la formación del personal local en tareas de operación y mantenimiento, generando capacidades técnicas propias. De este modo, el colegio podrá funcionar también como centro comunitario, acogiendo actividades vecinales, reuniones y talleres gracias a su autonomía energética.

Como parte del compromiso con el desarrollo sostenible, este proyecto no sólo busca resolver un problema técnico, sino también alinearse con los principios globales establecidos por la Agenda 2030. En este sentido, el proyecto contribuye de manera directa a varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por las Naciones Unidas, que abordan desafíos clave como la educación, el acceso a la energía, la sostenibilidad de las

comunidades, el cambio climático y la cooperación internacional. A continuación, se detallan los principales ODS a los que esta iniciativa contribuye:

ODS 4 - Educación de calidad: El cuarto Objetivo de Desarrollo Sostenible tiene como meta garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad para todos. En el caso de la institución que hemos elegido, el acceso irregular a la electricidad limita seriamente las condiciones de enseñanza y aprendizaje: los alumnos no pueden utilizar recursos informáticos, las aulas carecen de una iluminación adecuada y es imposible realizar actividades educativas fuera del horario diurno. Este proyecto contribuye directamente a mejorar este entorno de aprendizaje ya que, al proporcionar una fuente de energía fiable, permitirá integrar herramientas tecnológicas en el proceso educativo (inclusión digital), extender las horas de actividad del centro y crear un entorno más digno, seguro y eficiente.

ODS 7 - Energía asequible y no contaminante: Este objetivo busca asegurar el acceso a una energía moderna, asequible, fiable y sostenible para todos. El sistema fotovoltaico de esta propuesta proporciona una fuente de energía renovable, accesible y sostenible para la comunidad escolar de Sierra Leona. El proyecto sustituye la dependencia de una red eléctrica inestable por una solución energética limpia y autónoma. Además de ser una alternativa respetuosa con el medio ambiente, el sistema permitirá al colegio reducir costes operativos, lo que hace que esta fuente de energía no solo sea sostenible desde el punto de vista ambiental, sino también viable económicamente a largo plazo.

ODS 11 - Ciudades y comunidades sostenibles: La finalidad de este objetivo es promover el desarrollo de comunidades resilientes, inclusivas y sostenibles. Electrificar la Goshen Academy con energía solar no solo mejora las condiciones del centro escolar, sino que también fortalece la infraestructura básica de la comunidad. Este tipo de intervenciones contribuye a mejorar los servicios esenciales en zonas vulnerables, favoreciendo el acceso equitativo a oportunidades de desarrollo y fomentando modelos de desarrollo local que no dependen de recursos externos o contaminantes. Además, al capacitar a miembros de la comunidad en la gestión del sistema, se impulsa la autonomía y se refuerza la unidad social.

ODS 13 - Acción por el clima: Este objetivo tiene como finalidad adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. En este sentido, el sistema solar propuesto tiene un impacto ambiental positivo, ya que reduce el uso de combustibles fósiles y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. Sustituir los generadores diésel por energía solar supone una clara contribución a la mitigación del cambio climático a nivel local, demostrando que es posible aplicar soluciones tecnológicas sostenibles en este contexto.

ODS 17 - Alianzas para lograr los objetivos: Este objetivo reconoce que el desarrollo sostenible requiere la colaboración entre distintos actores: instituciones, comunidades, organizaciones y sector privado. Nuestro proyecto nace de una colaboración entre estudiantes, mentores, ONGs (EWB) y la comunidad local, lo que fortalece los lazos dentro del conjunto social. Estas alianzas han hecho viable esta solución y refuerzan la idea de que el trabajo conjunto es clave para lograr transformaciones duraderas.

4.3 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de nuestro proyecto, seguiremos una metodología estructurada por fases para garantizar la fiabilidad de nuestros datos y la viabilidad técnica y económica de la propuesta.

Fase 1: Evaluación y diagnóstico del edificio

En primer lugar, necesitamos comprender las condiciones técnicas, estructurales y sociales de nuestra instalación para definir una solución ajustada a sus necesidades reales. Recopilaremos toda la información necesaria, incluyendo los planos del centro, los horarios de la jornada escolar, su historial de consumo energético, las opiniones/expectativas del personal docente, ... Todo ello será proporcionado directamente por la Goshen Academy. En caso de los datos que no estén disponibles, recurriremos a fuentes externas, como portales meteorológicos o bases de datos públicas. Aquellos datos que no puedan obtenerse de

ninguna fuente serán estimados de forma razonable, basándonos en referencias similares y criterios técnicos.

Fase 2: Diseño técnico del sistema

A continuación, realizaremos cálculos preliminares de forma manual para dimensionar el sistema y asegurarnos que pueda responder en la mayor medida posible a la demanda energética del colegio. Para ello, tendremos en cuenta datos de irradiación solar, temperaturas, etc. Estos resultados serán posteriormente verificados y analizados mediante el uso del software PVSyst, el cual generará un informe detallado con los resultados técnicos de nuestro sistema fotovoltaico. Una vez hayamos dimensionado el sistema solar, podremos pasar a su validación técnica con expertos y contratistas locales.

Fase 3: Planificación y estimación económica

Sabiendo ya la cantidad exacta de materiales requeridas por el sistema, nos pondremos en contacto con los proveedores locales para conocer disponibilidad y precio de nuestros equipos. Compararemos distintas ofertas disponibles en la zona para seleccionar la alternativa más conveniente en cuanto a relación calidad/precio. Con esta información, elaboraremos una estimación detallada del coste total del proyecto. Esto nos permitirá evaluar las posibles vías de financiación y calcular el retorno de la inversión, lo cual será muy importante para determinar la viabilidad del proyecto a largo plazo. Esto se explicará más en detalle en el apartado 4.4.

Fase 3: Implementación

Se procederá a la implementación del sistema, cuya ejecución se explicará con mayor detalle en el apartado 5.3 más adelante.

Fase 4: Capacitación

Para asegurar la sostenibilidad técnica del sistema a través de la formación de los responsables del centro, se elaborará un manual de operación con esquemas simplificados,

etiquetado del sistema y recomendaciones de seguridad. Además, se llevará a cabo la formación técnica específica para el personal del centro que incluirá nociones básicas de mantenimiento preventivo.

Fase 5: Monitoreo

Se llevará a cabo un seguimiento remoto semanal mediante comunicación con los responsables locales para verificar el correcto funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y realizar mejoras si fuera necesario.

Fase	Objetivo principal	Duración
Fase 1	Comprender las condiciones técnicas, estructurales y sociales de la instalación para definir una solución ajustada a las necesidades reales	Semana 0 - Semana 1
Fase 2	Dimensionar correctamente el sistema solar fotovoltaico, asegurando que pueda responder a la demanda energética del colegio de forma fiable y sostenible	Semana 2 – Semana 4
Fase 3	Ejecutar la instalación del sistema solar de forma segura y eficiente	Semana 5 – Semana 7
Fase 4	Asegurar la sostenibilidad técnica del sistema a través de la formación de los responsables del centro	Semana 8 – Semana 9
Fase 5	Verificar el correcto funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y realizar mejoras si fuera necesario	Semana 9 - Finalización no prevista en el corto plazo

Tabla 1. Metodología a emplear (Elaboración propia)

A continuación, se presenta el cronograma detallado que recoge las principales fases previstas, sus inicios y sus tiempos de ejecución

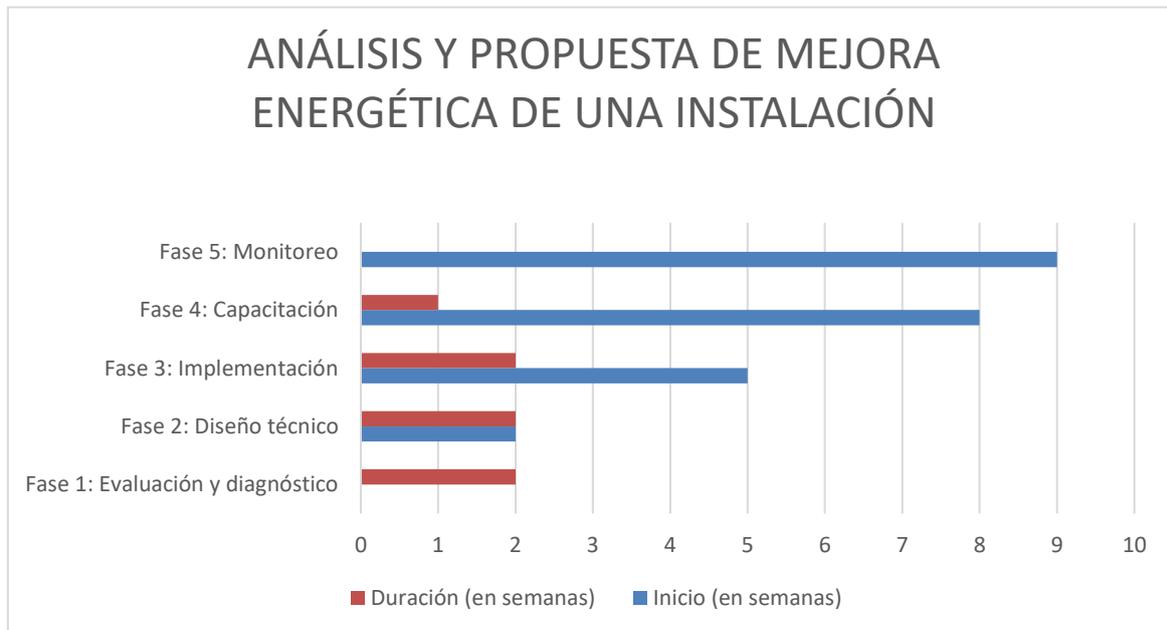


Ilustración 1. Inicio y duración de las fases (Elaboración propia)

4.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

La lista final de los materiales, con su número de unidades, coste por unidad y coste total se incluye a continuación:

	Nº de unidades	Coste por unidad (\$)	Coste total (\$)
Paneles solares	126	175	22 050
Baterías	60	2050	123 000
Inversores	9	1650	14 850
Módulos de contrapeso	126	108	13608
Bombillas	12	3	36
Luces de seguridad	15	10	150
Cableado	1	1500	1500
		COSTE TOTAL	\$ 15 294

Tabla 2. Tabla final de materiales: unidades y costes (Elaboración propia)

Al ser un proyecto con iniciativa en Ingenieros sin Fronteras USA, los precios se muestran en dólares.

Para la financiación inicial del proyecto se contará con las siguientes ayudas:

- Ingenieros sin fronteras asumirá el 60% del coste inicial.
- En la universidad de North Carolina State University se realizarán actividades, eventos, etc que recauden fondos. Se espera que las donaciones de los alumnos lleguen a financiar un 10% del coste total inicial.
- Se pedirá ayudas a otras ONGs y asociaciones aplicando a distintas ayudas para proyectos en desarrollo y fondos de cooperación. Esto se espera que llegue a otro 10% del total necesario.
- Por último, será el propio centro y la comunidad de Freetown los que asuman el 20% restante.

Para el posterior mantenimiento del sistema y reemplazo de los componentes, el centro recaudará dinero de cuotas que cobrará a los estudiantes y sus familias. Se planea que cada estudiante contribuya con un pago de 10 dólares, que irá destinado a un fondo de reserva para su uso cuando sea necesario. El centro cuenta actualmente con 115 estudiantes, pero este número se estima que va a aumentar ya que el centro empezará a impartir clases al resto de la comunidad fuera del horario escolar. Se espera que, con este incremento en el número de estudiantes, cada año se recaude suficiente dinero para cubrir los gastos de mantenimiento necesarios y se pueda ahorrar una parte para cubrir el coste de la sustitución necesaria de los elementos principales dentro de 15 años.

Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

5.1.1 CONTEXTO

La Goshen Academy está formada por tres áreas principales: el edificio de educación infantil, un edificio abandonado y el edificio de educación primaria, este último distribuido en dos plantas. En la primera planta se encuentra una clase principal, la oficina, una sala de almacenamiento y un pasillo grande. En la segunda planta otra clase principal y una sala de ordenadores. El centro cuenta con aproximadamente 115 estudiantes y un equipo docente y administrativo compuesto por 10 personas. La infraestructura eléctrica actual es prácticamente inexistente. Sólo se ha identificado una habitación equipada con cinco tomas de corriente, tres enchufes y una caja de interruptores, pero en la práctica, el centro educativo no dispone de un suministro eléctrico funcional.

Este proyecto contempla una intervención integral en la infraestructura eléctrica del colegio. Se pretende instalar nuevos puntos de luz en todas las aulas, así como un sistema fotovoltaico compuesto de paneles solares e instalaciones de almacenamiento mediante baterías que permitirán alimentar todos los dispositivos y servicios eléctricos del centro. Las propias estructuras de los edificios serán utilizadas para albergar estos nuevos componentes eléctricos, incluidos el inversor y las baterías, mientras que los tejados se usarán como espacio para colocar los paneles solares.

Gracias a este proyecto, la escuela podrá cubrir por completo sus necesidades energéticas y reducir su dependencia de la red eléctrica nacional inestable. Esta solución no solo aportará estabilidad al entorno educativo, sino que también facilitará el desarrollo de habilidades digitales entre el alumnado y abrirá posibilidades de realizar actividades fuera del horario escolar, ampliando así las oportunidades de aprendizaje para toda la comunidad.

Para garantizar la eficacia del sistema, a la hora de realizar los cálculos a continuación, se han tenido en cuenta factores ambientales determinantes como el clima (temperaturas máximas, mínimas y medias) y las horas mínimas de sol disponibles (niveles de irradiación solar), así como las características y las horas de uso de cada uno de los equipos del centro, ya que todo ello influye directamente en el rendimiento energético de la instalación.

5.1.2 ENTREVISTAS CON DOCENTES DEL CENTRO

Los estudiantes de Ingenieros sin Fronteras entrevistaron a varios docentes del centro para conocer, desde su punto de vista, cuál era la situación actual del centro y cuáles eran sus necesidades principales. De estas entrevistas, los puntos más relevantes fueron los siguientes:

- Aunque cuentan con dispositivos electrónicos como ordenadores, no pueden usarlos debido a la falta de electricidad.
- Mencionan que el concepto de sostenibilidad es central para ellos y muestran una alta disposición para asumir el mantenimiento del sistema.
- Señalan la posibilidad de hacer uso de la energía generada por los paneles en horarios óptimos, durante las horas pico de sol, por ejemplo, para realizar aquellas actividades que demandan más electricidad, como las clases de informática. De esta forma, se podría reducir la carga sobre las baterías.
- Necesitan apoyo para la formación técnica del profesorado, especialmente en el uso y mantenimiento del sistema. Sugieren asignar a dos personas responsables del sistema y brindar formación general al equipo para intentar reducir costes operativos futuros y aumentar la independencia técnica del centro.
- Se recalca la seguridad del sistema. Los paneles se instalarán en el techo, pero se requiere vigilancia y almacenamiento adecuado para las baterías. Los docentes aseguran que tomarán medidas para garantizarlo.
- Destacan la importancia de evaluar también otros dispositivos que el centro quiere utilizar (impresoras, neveras, etc.) para que el sistema diseñado sea acorde a su demanda energética.

- Otros aspectos que señalan: la falta de espacio físico para acomodar al creciente número de estudiantes y la construcción de un nuevo edificio para solucionarlo, la necesidad de medios de transporte para los alumnos y los salarios muy bajos del personal docente. En lo que a nuestro proyecto se refiere, estos aspectos no resultan de interés.

5.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

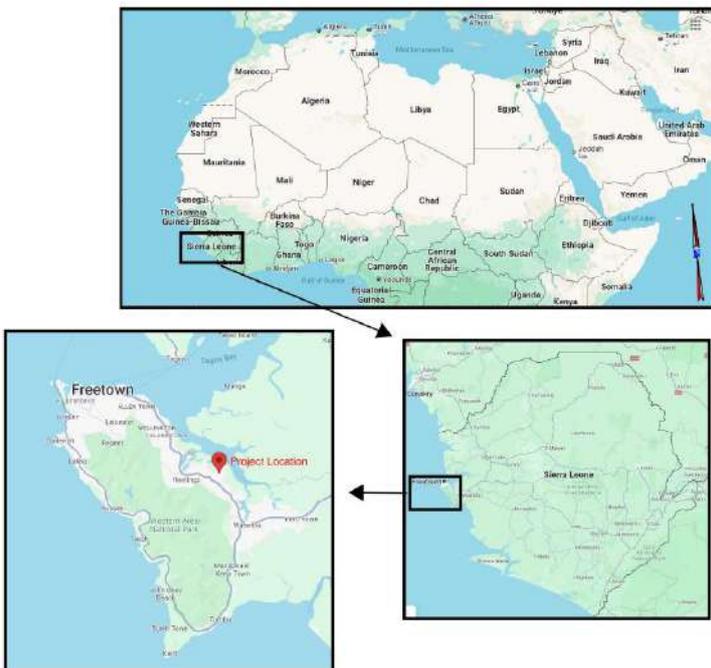


Ilustración 2. Ubicación del emplazamiento (EWB USA)

Las coordenadas de nuestro emplazamiento son las siguientes:

- Latitud: 8,4208945°
- Longitud: -13,1631580°
- Altitud: 28 m



Ilustración 3. Vista aérea de las instalaciones (EWB USA)

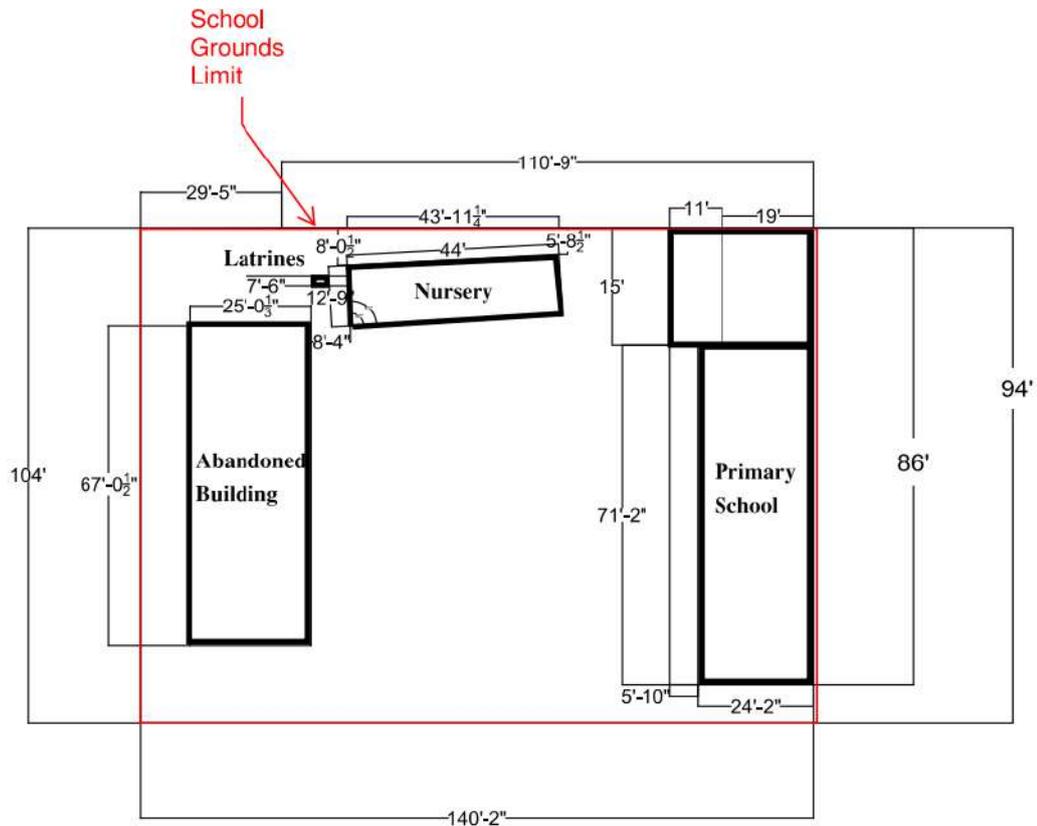


Ilustración 4. Plano de los edificios del colegio (EWB USA)

Nos interesan las medidas del edificio de primaria y del edificio abandonado, ya que es en sus techados donde se pretende llevar a cabo la instalación del sistema. El plano, que ha sido proporcionado por el centro y modelado en Autocad por EWB, cuenta con medidas en pies/pulgadas. Pero para nuestra simulación en PVSyst usaremos metros, por lo que hacemos la conversión (1 pie = 0,3048 m) y calculamos el área de cada edificio y la total del espacio:

Edificio de educación primaria

$$24'-2'' = 7,367 \text{ m}$$

$$71'-2'' = 21,691 \text{ m}$$

$$19' = 5,79 \text{ m}; 11' = 3,35 \text{ m} - \text{Total} = 9,14 \text{ m}$$

$$15' = 4,57 \text{ m}$$

$$\text{Área total} = (21,691 \times 7,367) + (9,14 \times 4,57) = 201,567397 \text{ m}^2 = 201,567 \text{ m}^2$$

Edificio abandonado

$$25'-1/3'' = 7,62 \text{ m}$$

$$67'-1/2'' = 20,44 \text{ m}$$

$$\text{Área total} = 155,7528 \text{ m}^2 = 155,753 \text{ m}^2$$

5.1.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema energético propuesto se basa en la generación de energía mediante paneles solares, cuya producción es en corriente directa (DC). Esta energía en DC se utiliza tanto para cargar las baterías como para alimentar directamente la escuela. Para poder alimentar los aparatos eléctricos y el cableado general del edificio, la energía debe convertirse en corriente alterna (AC).

Para lograr esta conversión de DC a AC, utilizaremos un inversor. El inversor cuenta con un controlador de carga para distribuir automáticamente la energía entre las baterías y el consumo de la escuela, según varíe la demanda. En casos donde el consumo en la escuela sea alto, el controlador enviará más energía directamente a la escuela, y si es bajo priorizará la carga de las baterías.

Por razones de seguridad, el inversor y los paneles solares estarán conectados a tierra mediante una barra de puesta a tierra. Esto da una vía segura para la electricidad en caso de que ocurra algún fallo o sobrecarga. Finalmente, hay que destacar que todo el cableado interno del edificio será en corriente alterna (AC) para garantizar la compatibilidad con los equipos eléctricos y facilitar la distribución de la energía.

5.1.5 DATOS DE INTERÉS

5.1.5.1 Irradiancia solar global horizontal

Para la simulación de PVSyst, se requieren datos de irradiación global horizontal expresados en kWh/m² para cada mes. Usaremos los datos proporcionados por el propio software, sacados de la fuente Meteonorm, que son los siguientes:

Mes del año	Irradiancia global horizontal (kWh/m ² /mes)
Enero	155,5
Febrero	153,2
Marzo	179,9
Abril	171,8
Mayo	164,3
Junio	150,4
Julio	144,2
Agosto	141,4
Septiembre	147,5
Octubre	158,4
Noviembre	143,5
Diciembre	145,7

Tabla 3. Irradiancia global horizontal por mes en Sierra Leona (Meteonorm)

En base a estos resultados, podemos decir que el mes con mayor nivel de irradiación solar es marzo y el de menos agosto. Es por esto por lo que podemos decir que el mes de agosto es el periodo con menor potencial energético. Por ello, el cálculo de las horas solares pico del sistema se realizará con los datos de dicho mes para garantizar que se podrá satisfacer la demanda eléctrica incluso en las condiciones más desfavorables.

La siguiente tabla presenta los valores promedio por hora de irradiancia solar global en condiciones de cielo despejado (Clearsky GHI) para el mes de agosto:

Hora	Promedio Diario GHI Clearsky (W/m ²)
00:30	0
01:30	0
02:30	0
03:30	0
04:30	0
05:30	0
06:30	0
07:30	15,129
08:30	189,439
09:30	407,387
10:30	602,161
11:30	746,419

12:30	822,839
13:30	829,323
14:30	761,839
15:30	611,516
16:30	424,387
17:30	210,387
18:30	24,452
19:30	0
20:30	0
21:30	0
22:30	0
23:30	0

Tabla 4. Promedio diario GHI Clearsky para el mes de agosto (NSRDB)

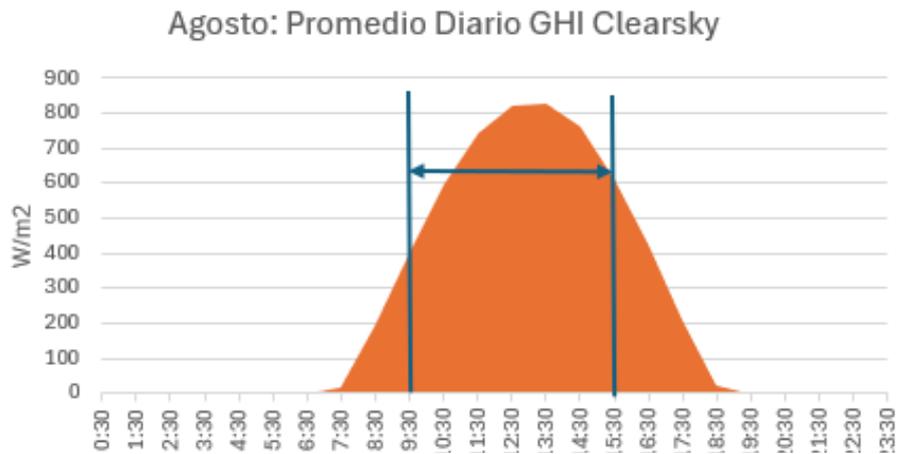


Ilustración 5. Promedio diario GHI de agosto (Elaboración propia)

Podemos calcular las horas solares pico (PSH) como:

$$PSH = \frac{5645 \frac{Wh}{m^2}}{1000} = 5,65 \text{ horas solares pico}$$

Esto significa que, en el mes de agosto, la energía solar diaria en Freetown equivale a 5,65 horas de sol a 1000W/m². La irradiancia empieza a las 7:30 de la mañana y se mantiene significativa hasta las 17:30, por lo que podemos decir que contamos con 12 horas de irradiación solar diarias. Las horas solares pico ocurren desde las 9:30 hasta las 15:30 (6 horas). El máximo valor, aproximadamente 830 W/ m², ocurre a la 13.30.

5.1.5.2 Temperaturas

La temperatura es importante porque influye directamente en el voltaje de los paneles. A menor temperatura el voltaje aumenta, mientras que, a mayor temperatura, disminuye. Al conocer estos valores de temperatura, nos podremos asegurar de que el sistema opere dentro del rango de voltaje seguro del inversor y de los demás componentes eléctricos.

Si bien existen registros históricos según datos de la NOAA que indican que la temperatura máxima absoluta alcanzada en Freetown ha sido de 38,5°C y la mínima absoluta de 15°C, estos casos se consideran situaciones excepcionalmente extremas y poco frecuentes. Por ello, y con el fin de garantizar una mayor representatividad y fiabilidad en los cálculos, vamos a utilizar los valores promedio mensuales máximos y mínimos.

Los valores de temperatura máxima y mínima sacados de la World Meteorological Organization (WMO) corresponden a promedios calculados sobre el periodo 1991-2020, lo que significa que no representan extremos absolutos registrados en un único año, sino condiciones climáticas medias a largo plazo.

Los valores promedio mensuales para Freetown son:

- Máxima promedio mensual: 29,9°C - 31,2°C
- Mínima promedio mensual: 23,0°C - 24,8°C

A la hora de realizar cálculos para comprobar los rangos de voltaje seguros del sistema usaremos como valor máximo promedio mensual 31°C y como mínimo 23°C.

Además, para la simulación de PVSyst, necesitaremos las temperaturas medias mensuales en Freetown, Sierra Leona. Los valores que usaremos serán también los proporcionados por PVSyst de la fuente Meteonorm y se incluyen en la siguiente tabla:

Mes del año	Temperatura (°C)
Enero	27,54
Febrero	27,89
Marzo	28,37
Abril	28,18
Mayo	28,54
Junio	26,81
Julio	26,43
Agosto	25,83
Septiembre	26,22
Octubre	27,45
Noviembre	27,60
Diciembre	27,95
Promedio año	27,41

Tabla 5. Temperaturas medias mensuales en Sierra Leona (Meteonorm)

5.1.5.3 Horario escolar del centro

Según los datos proporcionados por el centro educativo, el horario escolar en el edificio de educación primaria es el siguiente:

Actividad	Horario
Hora de llegada	7:30
Reunión/Devoción	8:00-8:20
Clases	8:25-11:30
Almuerzo	11:30-12:00
Clases	12:00-14:00
Hora de salida	14:00

Tabla 6. Horario de la jornada escolar en Goshen Academy (Goshen Academy)

Notar que estos datos corresponden a marzo de 2023, pero suponemos que no ha habido cambios significativos en el horario y por lo tanto nos basaremos en esta información para calcular la duración del día lectivo.

Si sumamos el total de minutos de actividad escolar obtenemos un valor de 385 minutos. Esto es 6,5 horas de actividad. Sin embargo, hay que tener en cuenta también que los profesores llegan a la escuela aproximadamente media hora antes del comienzo de la sesión escolar y terminan una hora más tarde. Por ello, se considera que una estimación razonable de la duración de la jornada es de 8 horas (7:00-15:00), con 5 horas de clase diarias.

Vamos a considerar que este horario aplica solo de lunes a viernes y que en aquellos días donde se quiera ampliar para extraescolares o eventos de la comunidad, habrá que considerar las horas extra.

5.1.5.4 Horario de uso de los aparatos

Para poder diseñar adecuadamente el sistema energético del centro, es fundamental conocer la información detallada sobre el consumo horario de los equipos eléctricos. De esta forma, podremos adaptarnos a su demanda energética y determinar la capacidad necesaria de los paneles solares y de las baterías. La siguiente tabla muestra las horas de uso de cada aparato electrónico para cada día de la semana:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ordenador de escritorio	8	8	8	8	8	0	0
Ordenador portátil	8	8	8	8	8	0	0
Impresora	1	0	1	0	0	0	0
Televisión	2	2	2	2	2	0	0
Teléfonos móviles	4	4	4	4	4	0	0
Bombillas	10	10	10	10	10	4	0
Proyector	6	6	6	6	6	4	0
Nevera	24	24	24	24	24	24	24
Congelador	24	24	24	24	24	24	24
Placa eléctrica	6	0	6	0	6	0	0

Luces de seguridad	12	12	12	12	12	12	12
Ventiladores	8	8	8	8	8	4	0

Tabla 7. Horario de uso de los aparatos electrónicos (Elaboración propia)

Detalles a considerar sobre estos horarios de uso:

- Los aparatos como los ordenadores de escritorio y los portátiles tendrán 8 horas de uso diario, ya que contaremos con 5 horas de clases, 2 horas de actividades extraescolares y 1 hora extra de sobrestimación en caso de que se necesiten durante más tiempo.
- Pediremos al centro que la impresora se use sólo 2 veces por semana, por ejemplo 1 hora los lunes y 1 hora los miércoles
- La televisión consideraremos que es para uso exclusivo de las extraescolares, durarán alrededor de 2 horas por las tardes, y que durante las clases de la jornada escolar se usará el proyector.
- El equipo docente está compuesto por 10 personas. Asumimos que cada uno quiere cargar su móvil una vez al día, que se pueden cargar 5 de ellos a la misma vez y que cada cargador es de 10W. Con este tipo de cargador un móvil tarda aproximadamente 2 horas en cargarse. Habrá que hacer dos tandas para cargar, así que ponemos un total de 4 horas de uso al día.
- Las bombillas se usarán durante las 8 horas de jornada escolar y las 2 horas de extraescolares, por lo que suma un total de 10 horas diarias.
- Como se ha mencionado anteriormente, el proyector se usará para las clases. Contaremos con 5 horas de clase y 1 hora extra de sobrestimación en caso de que se necesite durante más tiempo.
- La nevera y el congelador deberán estar en uso las 24 horas del día para garantizar que la comida no se estropee.
- La cocinera del centro quiere poder utilizar las placas eléctricas 3 días por semana (lunes, miércoles y viernes), unas 6 horas diarias.

- Las luces de seguridad serán necesarias en aquellas horas donde no haya luz. Como hemos calculado previamente, tenemos 12 horas de irradiación solar, por lo que para las 12 horas restantes del día necesitaremos estas luces.
- Los eventos de la comunidad se quieren planear para los sábados, calculamos unas 4 horas de evento en las que se usarán el proyector, los ventiladores y las bombillas.

Más adelante, a la hora de realizar los cálculos específicos para cada componente de nuestro sistema fotovoltaico, dividiremos estas horas de uso entre los paneles solares y las baterías, en esta tabla se muestra el uso total.

5.1.5.5 Efectos del cambio climático a largo plazo para el sistema

Uno de los factores climáticos más relevantes para el desempeño de este tipo de sistemas es la lluvia mensual, ya que la nubosidad asociada puede reducir la producción de energía solar. Se estima que hacia el año 2050 las precipitaciones aumenten en unos 20 mm por mes, lo que significa un incremento moderado que podría traducirse en más días nublados durante la temporada de lluvias. La temporada de lluvias puede llegar a reducir la irradiación solar en un 25%. Al ser la generación solar más limitada en esta época, no se espera que el sistema funcione a su máxima capacidad y se recomendará al centro reducir el uso de electricidad durante estos días. Será fundamental contar con una capacidad adecuada de almacenamiento de baterías. A pesar de esto, como la región tiene un clima mayormente seco y la temporada de lluvias es relativamente corta, no se considera una amenaza seria para la operación del sistema.

Hay que considerar también la variación en la temperatura promedio ya que esto afecta directamente al funcionamiento de los paneles solares. Se proyecta un ligero aumento de temperatura, entre unos 0,46°C y 1,11°C entre los años 2024 y 2025, pero esto tendría un impacto muy insignificante en la eficiencia de nuestro sistema.

En conclusión, aunque se anticipan cambios moderados en el clima de la región, no son lo suficientemente significativos como para afectar al desarrollo del proyecto y, por lo tanto, estas variaciones no se considerarán para el diseño actual.

5.2 CÁLCULOS Y DISEÑO

5.2.1 CÁLCULOS DE CARGA

Basándonos en los datos de irradiación solar Clearsky GHI de la Tabla 4, el horario de la jornada escolar proporcionado por el centro y la Tabla 7 del horario de uso de cada uno de los aparatos electrónicos, hemos calculado los diferentes valores de carga que pueden ser de interés para nuestro diseño.

En este caso, se usará Excel para realizar los cálculos. Tenemos dos pestañas, una para la estimación de carga de los paneles solares y otra para la estimación de carga de las baterías. Se ha considerado que a partir de un valor de 100 W/m^2 los paneles solares podrán funcionar, así que tendremos 10 horas en las que estos puedan trabajar. Del resto del tiempo, se encargará la energía almacenada en las baterías.

El colegio nos proporcionó una lista de aparatos con la cantidad de unidades que disponen de cada uno. Teniendo en cuenta el espacio reducido con el que contamos para la instalación del sistema, no podremos incluir todos los elementos de esta lista a la hora de calcular la demanda energética del centro. Por ello, hemos seleccionado aquellos aparatos que consideramos esenciales para realizar el dimensionamiento de nuestro sistema, intentado incluir el mayor número posible.

La elección final ha sido la siguiente:

Aparato electrónico	Cantidad total de unidades disponibles	Cantidad de unidades con la que se calculará la demanda
Ordenador de escritorio	3	2
Ordenador portátil	20	10
Impresora	1	1

TV	1	1
Teléfonos móviles	20	10
Bombillas	No hay datos	12
Proyector	1	1
Nevera	1	1
Congelador	1	1
Placa eléctrica	4	4
Luces de seguridad	No hay datos	15
Ventiladores	10	5

Tabla 8. Selección final del número de unidades de los aparatos electrónicos (Elaboración propia)

Los únicos datos no disponibles son el número de bombillas y el número de luces de seguridad, ya que esto se deja a elección de EWB. De momento, contaremos con 15 luces de seguridad y, para las bombillas, realizamos la siguiente estimación de lo que necesitaremos:

*Estimación del número de bombillas		
	Habitaciones	Bombillas que se necesitan
Planta 1	Clase principal	3
	Oficina	2
	Sala de almacenamiento	1
	Pasillo	1
Planta 2	Clase principal	3
	Sala de ordenadores	2
	Total	12

Ilustración 6. Cálculo de la estimación del número de bombillas (Elaboración propia)

5.2.1.1 Estimación de carga de los paneles solares

Se incluye:

- Cantidad de unidades
- Potencia nominal (vatios por unidad): carecemos de las hojas de características de todos los aparatos de la escuela, por lo que no tenemos los datos de las potencias nominales exactas de cada uno, pero nos hemos basado en datos estándar para hacer una estimación. Usamos datos conservadores (más altos) para el dimensionamiento y así garantizar que el sistema funcionará correctamente en todos los casos.
- En la columna de 'Paneles' se introduce un 1 si ese aparato usa energía de los paneles solares en algún momento y un 0 si no usa esta energía.
- Cálculo de vatios totales = N° de unidades x Vatios por unidad
- Potencia de arranque: carecemos de las hojas de características de todos los aparatos de la escuela, por lo que tampoco no tenemos los datos de las potencias de arranque. Nos vamos a basar en factores de arranque típicos para este tipo de aparatos y calcular su potencia de arranque como Potencia nominal x Factor de arranque (usaremos el valor más alto para ser más conservadores). Los factores de arranque que usaremos son los siguientes:

Aparato electrónico	Rango de factores de arranque típicos	Factor de arranque usado en los cálculos
Ordenador de escritorio	1,0 - 1,2	1,2
Ordenador portátil	1,0 - 1,1	1,1
Impresora	1,1 - 1,5	1,5
TV	1,0 - 1,2	1,2
Teléfonos móviles	1,0	1,0
Bombillas	1,0 - 1,1	1,1

Proyector	1,1 - 1,3	1,3
Nevera	2,5 - 3,5	3,5
Congelador	2,5 - 3,5	3,5
Placa eléctrica	1,0 - 1,1	1,1
Luces de seguridad	1,0 - 1,1	1,1
Ventiladores	1,1 - 1,3	1,3

Tabla 9. Factores de arranque para los aparatos electrónicos (Solarweb)

- Horas de uso de energía de los paneles solares (para cada aparato cada día)
- Energía consumida en Wh por aparato para cada día
- Promedio de energía consumida en Wh y kWh para cada aparato electrónico
- Energía total consumida en kWh por todos los aparatos para cada día y en promedio

Cálculos más importantes para los paneles solares:

- Promedio total: 44 124 Wh/día
- Potencia de sobretensión total: 18 455 W
- Carga máxima: 13 185 W

Cálculos de carga					
Aparatos electrónicos	Cantidad	Potencia nominal	Paneles	Vatios totales	Potencia de arranque
Ordenador de escritorio	2	235	1	470	564
Ordenador portátil	10	65	1	650	715
Impresora	1	2500	1	2500	3750
TV	1	200	0	0	0
Teléfonos móviles	10	10	1	100	100
Bombillas*	12	15	1	180	198
Proyector	1	350	1	350	455
Nevera	1	800	1	800	2800
Congelador	1	335	1	335	1172,5
Placa eléctrica	4	1800	1	7200	7920
Luces de seguridad**	15	18	0	0	0
Ventiladores	5	120	1	600	780

Horas de uso						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
8	8	8	8	8	0	0
8	8	8	8	8	0	0
1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
4	4	4	4	4	0	0
10	10	10	10	10	4	0
6	6	6	6	6	4	0
10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10
6	0	6	0	6	0	0
0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	4	0

Energía consumida en Wh							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
3760	3760	3760	3760	3760	0	0	2686
5200	5200	5200	5200	5200	0	0	3714
2500	0	2500	0	0	0	0	714
0	0	0	0	0	0	0	0
400	400	400	400	400	0	0	286
1800	1800	1800	1800	1800	720	0	1389
2100	2100	2100	2100	2100	1400	0	1700
8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350
43200	0	43200	0	43200	0	0	18514
0	0	0	0	0	0	0	0
4800	4800	4800	4800	4800	2400	0	3771
75,11	29,41	75,11	29,41	72,61	15,87	11,35	44,12

Total (kWh)

Promedio total Wh/día	44124
Potencia de sobretensión total (W)	18455
Carga máxima (W)	13185

Ilustración 7. Cálculos de carga para los paneles solares (Elaboración propia)

5.2.1.2 Estimación de carga de las baterías

Se incluye:

- Cantidad de unidades: igual que en paneles solares
- Potencia nominal (vatios por unidad): igual que en paneles solares
- En la columna de 'Baterías' se introduce un 1 si ese aparato usa energía almacenada en las baterías en algún momento y un 0 si no usa esta energía.
- Cálculo de vatios totales = N° de unidades x Vatios por unidad
- Potencia de arranque: Se calcula igual que para los paneles solares y usamos la misma tabla de factores de arranque, Tabla 9.
- Horas de uso de energía de las baterías (para cada aparato cada día)
- Energía consumida en Wh por aparato para cada día
- Promedio de energía consumida en Wh para cada aparato electrónico
- Energía total consumida en kWh por todos los aparatos para cada día y en promedio

Cálculos más importantes para las baterías:

- Promedio total: 337 486 W
- Potencia de sobretensión total: 33 790 W
- Carga máxima: 28 300 W
- Energía total: 122 845 kWh/año

Cálculos de carga					
Aparatos electrónicos	Cantidad	Potencia nominal	Baterías	Vatios totales	Potencia de arranque
Ordenador de escritorio	2	235	0	0	0
Ordenador portátil	10	65	0	0	0
Impresora	1	2500	0	0	0
TV	1	200	1	200	240
Teléfonos móviles	10	5	0	0	0
Bombillas	12	15	0	0	0
Proyector	1	350	0	0	0
Nevera	1	300	1	300	1050
Congelador	1	800	1	800	2800
Placa eléctrica	4	335	0	0	0
Luces de seguridad	15	1800	1	27000	29700
Ventiladores	5	5	0	0	0

Horas de uso						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12
0	0	0	0	0	0	0
12	12	12	12	12	12	12
0	0	0	0	0	0	0

Energía consumida en Wh							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
400	400	400	400	400	0	0	286
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600
0	0	0	0	0	0	0	0
324000	324000	324000	324000	324000	324000	324000	324000
0	0	0	0	0	0	0	0
337,60	337,60	337,60	337,60	337,60	337,20	337,20	337,49

Total (kWh)
2362 kWh
122845 kWh
122,845 MWh

Promedio total Wh/día	337486
Potencia de sobretensión total (W)	33790
Carga máxima (W)	28300
Total Energía (kWh/año)	122845

Ilustración 8. Cálculo de carga para las baterías (Elaboración propia)

5.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Los datos clave de nuestro inversor S6-EH1P8K-L-PRO son los siguientes:

Potencia nominal de salida	8000 W = 8 kW
Capacidad de sobretensión	16000 W = 16 kW
Voltaje máximo de entrada	600 V
Potencia solar útil máxima	12,8 kW
Rango de MMPT	90 – 520 V
Corriente máxima de entrada	32A/20 A
Corriente máxima de cortocircuito	36A/30A
Número de MPPTs	2
Cadenas máximas por MPPT	3
Cadenas máximas por inversor	6
Función paralela	Sí, hasta 6 inversores

Tabla 10. Características del inversor S6-EH1P8K-L-PRO (Ginlong Technologies, Solis)

Las características de los paneles 560-585W N-TOPCon son las siguientes:

Potencia pico	585 W
Tensión de operación (V _{mp})	43,95 V
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	52,05 V
Corriente en operación (I _{mp})	13,31 A

Corriente de cortocircuito (Isc)	14,07 A
----------------------------------	---------

Tabla 11. Características paneles 585W N-TOPCon (African Energy)

Realizaremos primero los cálculos manualmente usando Excel hasta que encontremos la solución que consideremos óptima. Una vez tengamos los parámetros de diseño de nuestro sistema usaremos PVSyst para su simulación y análisis.

Empezamos calculando la potencia pico total teórica del sistema como la suma de las demandas individuales de los paneles solares y de las baterías. Demanda solar = 13 185 W; Demanda baterías = 28 300 W.

$$\text{Potencia pico solar teórica} = 13185 + 28300 = 41\,485 \text{ Wp}$$

En el diseño de sistemas fotovoltaicos, se aplica un sobredimensionamiento del campo solar, generalmente de un 20%, para compensar las posibles pérdidas por condiciones no ideales. Las placas solares están medidas en condiciones STC, condiciones que como se ha comentado anteriormente no son reales, y por lo tanto se deben sobredimensionar. Aplicaremos también un factor de simultaneidad de 0,8 para ajustar la carga a la demanda real, ya que no todos los equipos se usarán y consumirán energía a la vez. Por tanto, multiplicaremos este valor por 1,2 y por 0,8.

$$\text{Potencia pico solar teórica ajustada} = 41\,485 * 1,2 * 0,8 = 39825,6 \text{ Wp}$$

Necesitamos conocer el número de strings, paneles solares, inversores, etc. Esto lo haremos usando los datos del inversor de la Tabla 10 y los datos de los paneles de la Tabla 11. Empezaremos dimensionando primero sólo para el edificio de primaria y luego lo adaptaremos de la misma forma para el tejado del edificio abandonado.

La potencia máxima de entrada del inversor es de 600 V y, como se calculará posteriormente en el apartado 5.2.3, el voltaje máximo de los paneles (ajustado para la temperatura mínima) es de 55,85V. Con estos dos valores podemos calcular el número máximo de módulos por string.

$$\text{Número máximo de módulos por string} = \frac{V_{\max \text{ inversor}}}{V_{\text{oc para temp mínima}}} = 600/55,85 = 10,743$$

Redondeamos para abajo para no sobrepasar el límite de tensión de entrada del inversor. Por tanto, 10 es el número máximo de módulos que podremos colocar por string. Iremos probando con diferentes combinaciones para ver cuál es la óptima en nuestro caso.

Si usamos este valor máximo de 10 paneles por string y cada panel tiene una potencia nominal de 585 W calculamos:

$$\text{Potencia pico por string} = 10 * 585 = 5850 \text{ Wp}$$

Pasamos a calcular el número total de strings que necesitaremos:

$$\text{Número total de strings} = \frac{\text{Potencia pico total solar teórica}}{\text{Potencia pico por string}} = \frac{39825,6}{5850} = 6,8078$$

Redondeamos este valor al siguiente número entero y por lo tanto contaremos con un total de 7 strings. La potencia pico total instalada y el número de módulos instalados serán entonces:

$$\text{Potencia pico total instalada} = 7 * 5850 = 40950 \text{ W}$$

$$\text{Número de módulos instalados en el edificio de primaria} = 7 * 10 = 70 \text{ módulos}$$

Hay que comprobar que el número de módulos que necesitamos para cubrir la demanda calculada quepa en el espacio físico con el que contamos en ambos tejados. El área disponible es de 201,567 m² en el edificio de primaria y 155,753 m² en el edificio abandonado. El área de cada panel, contando con su inclinación de 15°, es aproximadamente de 2,495 m² (1.134* 2.278 * cos (15)). Se explicará más adelante la elección de este ángulo de inclinación. Al hacer la división, calculamos que podemos tener un máximo de 80 módulos solares instalados en el tejado del edificio de primaria y 62 módulos en el edificio abandonado, 142 módulos en total como máximo.

Pasamos a sacar el número de inversores que necesitaremos en este edificio:

$$\begin{aligned} \text{Número de inversores edificio de primaria} &= \frac{\text{Potencia pico solar teórica}}{\text{Potencia nominal del inversor}} \\ &= \frac{33188}{8000} = 4,1485 \text{ inversores} - 5 \text{ inversores} \end{aligned}$$

Redondeamos este valor al siguiente número entero y por lo tanto contaremos con un total de 5 inversores en el edificio de primaria. Notar que en este caso la potencia pico solar teórica ya no cuenta con el sobredimensionamiento que hemos usado antes en energía solar. Para el dimensionamiento del inversor la potencia pico total solar teórica es = $41485 \cdot 0,8 = 33188$ W.

Una vez tenemos estos cálculos, podemos pasar a la configuración de paneles e inversores para este edificio. Haciendo un cálculo rápido vemos que deberíamos tener aproximadamente 1,4 strings por inversor (Número de strings/Número de inversores). La configuración que se plantea inicialmente es tener 3 inversores con 1 string cada uno y 2 inversores que tendrán 2 strings.

Sin embargo, al realizar la simulación con esta configuración en PVSyst, vemos que hay un aviso informando de que nuestro inversor está subdimensionado. En este caso, la producción solar excedería la capacidad del inversor. El inversor limitaría la energía que podrían entregar los paneles y esta energía se desperdiciaría. Para evitar esto, decidimos cambiar su configuración. La nueva propuesta es tener 7 módulos en serie (por string) y 10 strings, 2 strings por cada inversor. El número de paneles no cambia, se mantiene en un valor de 70 módulos para el edificio de primaria, pero cambiamos su disposición. El aviso de PVSyst desaparece de esta forma y vemos que la potencia pico por inversor ahora es de 8190 W ($4095 \cdot 2$), mucho más cercana a los 8000 W del inversor, y por lo tanto le permite trabajar de manera óptima y mejorar su rendimiento. Además, nos proporciona mayor simetría, lo que puede ser ventajoso para el equilibrio eléctrico de nuestro sistema.

Los cálculos para esta nueva configuración son, por lo tanto:

$$\text{Número de módulos en serie} = 7$$

Número de strings total = 10

Potencia pico por string = $585 * 7 = 4095$

Pero, esto es sólo para el edificio de primaria. Tenemos que hacer lo mismo para el edificio abandonado. Como hemos calculado antes, podremos tener un máximo de 62 paneles en este edificio. Si seguimos la configuración de 7 módulos por string, podremos instalar 8 strings aquí, de 7 módulos cada uno y por lo tanto contaremos con un total de 56 módulos en este edificio.

El total del sistema resulta:

Número de módulos en serie por string = 7

Número total de strings = 18 (10 en el edificio de primaria y 8 en el edificio abandonado)

Potencia por string = 4095 W

Potencia pico por inversor = $4095 * 2 = 8190$ Wp

Potencia pico total instalada = 73710 Wp

Pondremos 9 inversores con 2 strings cada uno, 5 inversores en el edificio de primaria y 4 en el abandonado. Será un total de 126 módulos en ambos edificios.

Procedemos a ver su distribución por inversor y por MPPT. El diseño quedará de la siguiente manera:

Número de inversor	Número de strings totales en el inversor	Strings en MPPT 1	Strings en MPPT 2
1	2	1	1
2	2	1	1

3	2	1	1
4	2	1	1
5	2	1	1
6	2	1	1
7	2	1	1
8	2	1	1
9	2	1	1

Tabla 12. Configuración final del sistema (Elaboración propia)

Debemos comprobar que nos mantenemos dentro de los rangos establecidos de los aparatos para verificar que esta configuración del sistema es válida.

Comprobamos el valor de corriente en cortocircuito, ya que es el caso más desfavorable. De la Tabla 10 vemos que la I_{sc} del inversor máxima por MPPT es 36 A y por entrada es 30 A. Nuestros paneles solares tienen una corriente de cortocircuito de 14,07 A. Tenemos 2 strings por inversor, corriente de 28,14 A, y solo 1 string por MPPT. Todos estos valores son menores que los establecidos, por lo que nos mantenemos dentro del rango de corriente permitido.

Para el inversor hay que comprobar también el valor de su ratio DC/AC:

$$\begin{aligned} \text{Ratio DC AC de un inversor} &= \frac{\text{Potencia pico por inversor}}{\text{Potencia nominal de un inversor}} = \frac{8190}{8000} \\ &= 1,02375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ratio DC AC del sistema} &= \frac{\text{Potencia pico total}}{\text{Potencia nominal de los inversores}} = \frac{73710}{9 * 8000} \\ &= 1,02375 \end{aligned}$$

Si el ratio es >1 , nos aseguramos de que los inversores operen más cerca de su capacidad durante más tiempo, por lo que mejora su eficiencia. Tanto para un inversor como para el sistema en general estamos por encima de 1.

Los paneles solares que se pretenden usar en nuestro sistema son los N-TOPCon de 560-585 W, en concreto el panel solar bifacial de 585W. Para garantizar que los voltajes se mantengan dentro del rango aceptable a cualquier temperatura, consideraremos su ficha técnica para conocer las características de estos paneles.

Coeficiente de Voc (voltaje en circuito abierto)	-0,25%/°C
Temperatura nominal de operación del panel (NMOT) a 800W/m ² (80mW/cm ²)	45+/- 2°C
Voltaje en circuito abierto (Voc)	52,05 V

Tabla 13. Coeficientes de temperatura de los paneles 585W N-TOPCon (African Energy)

Para calcular la temperatura del panel solar se usará la siguiente fórmula:

$$T_{\text{panel solar}} = T_{\text{ambiente}} + \left(\frac{NMOT - 20}{80} \right) * S$$

Consideramos que el valor de la temperatura ambiente será el máximo y mínimo valor de las temperaturas de Freetown y que S es la máxima irradiancia. Tendremos en cuenta también las Condiciones Estándar de Prueba (STC) y el valor de NMOT descritos en el Capítulo 2.

Como hemos establecido antes, la temperatura máxima es de 31°C. Por lo que:

$$T_{\text{panel solar}} = 31 + ((45-20) / 80) * 100 = 62.25^\circ\text{C} - \text{Temperatura de célula}$$

Los paneles solares están diseñados y certificados bajo las condiciones STC, que establecen una irradiancia de 1000W/ m² y una temperatura de célula de 25°C. Si comparamos esta

temperatura con la que hemos obtenido y consideramos el coeficiente de Voc podemos sacar la caída de voltaje como:

$$(62,25 - 25) * (-0,25) = - 9,3125 \%$$

Esto quiere decir que, en el día más caluroso, el voltaje disminuirá un 9,3% de 52,05V por panel a 47,21V. Si conectamos los paneles en serie, donde en cada string tenemos 10 paneles como máximo, tendremos un voltaje de $10 \times 47,21V = 472,1V$. Tenemos que comparar este valor con el voltaje de entrada máximo permitido del inversor. De la ficha de características de nuestro inversor, vemos que este valor se encuentra por debajo del límite máximo de 600V.

Realizamos el mismo análisis para la temperatura mínima es de 23°C.

$$T_{\text{panel solar}} = 23 + ((45-20) / 80) * 100 = 54,25^{\circ}\text{C} - \text{Temperatura de célula}$$

En este caso, al disminuir la temperatura, el voltaje aumentará. Por lo que usamos el coeficiente de Voc en valor absoluto para calcular la variación en el voltaje:

$$(54,25 - 25) * (0,25) = 7,3125 \%$$

Esto quiere decir que, en el día menos caluroso, el voltaje aumentará un 7,3% de 52,05V por panel a 55,85V. Si conectamos los paneles en serie, donde en cada cadena tenemos 10 paneles como máximo, tendremos un voltaje de $10 \times 55,85V = 558,5V$. Vemos que este valor también se encuentra por debajo del límite máximo de 600V.

Dado que ambos voltajes totales de la cadena de paneles solares en los casos más desfavorables se encuentran dentro del rango operativo del inversor, podemos concluir que este tipo de paneles solares de 585W son adecuados para el sistema. Por lo tanto, podrán ser utilizados de forma segura.

Vamos a usar las baterías WECO Dual Voltage 5K3-XP, cuya hoja de características se incluirá en el Anexo 4. Para su dimensionamiento, usamos como dato de autoconsumo en

PVSyst el valor total de energía al año: 122 845 kWh/año. Nos queda la siguiente configuración de baterías:

- 2 módulos en serie x 30 módulos en paralelo
- Número de módulos = 60
- Número de elementos = 960

5.2.3 TEJADO E INCLINACIÓN ÓPTIMA

Usamos PVSyst para determinar cuál es la inclinación y el valor de azimut óptimos para nuestra instalación. Fijándonos en el factor de transposición (tiene que estar entre 1 - 1,1) y en el porcentaje de pérdida con respecto al óptimo (nos interesa un valor del 0%) vemos que los valores que debemos usar son:

- Inclinación del plano = 15°
- Azimut = 0°

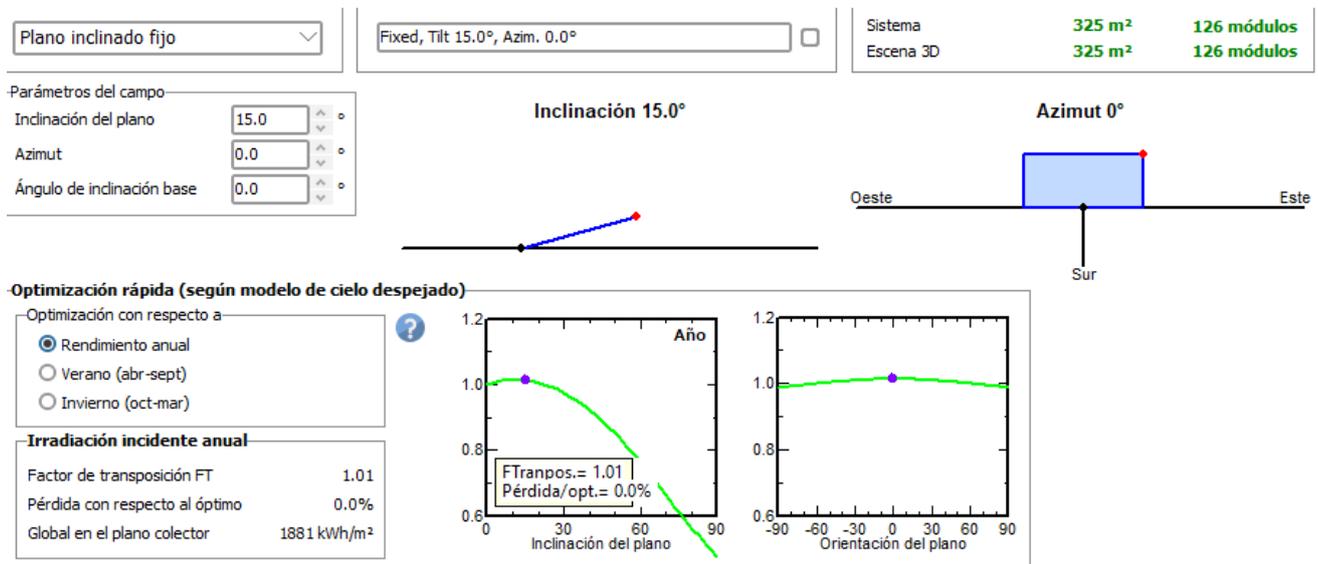


Ilustración 9. Pestaña de orientación en PVSyst (Simulación PVSyst)

5.2.4 SISTEMA DE CONTRAPESO

Para la instalación de los paneles solares en ambos tejados necesitaremos un sistema de contrapeso. Por su disponibilidad en Sierra Leona y relación calidad/precio, elegiremos el modelo Sunfer 15V. Su hoja de características se incluirá en el Anexo 6. Hay que destacar que permite la inclinación de 15° de nuestros paneles y es compatible con sus dimensiones. Se instalará 1 módulo de soporte por cada panel solar.

5.2.5 ESQUEMA DEL SISTEMA

El diagrama unifilar del sistema, realizado por PVSystem, es el siguiente:

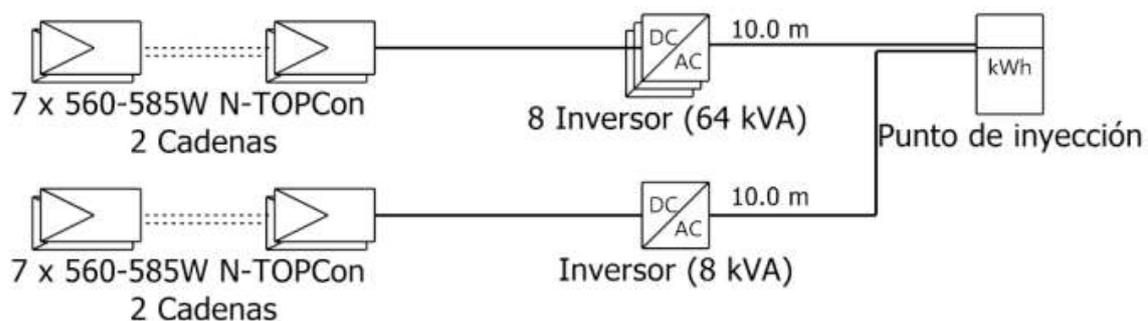


Ilustración 10. Esquema unifilar del sistema (Simulación PVSystem)

5.3 IMPLEMENTACIÓN

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de esta fase es llevar a cabo la instalación del sistema solar de forma segura y eficiente. La duración de la fase de implementación es de 2 semanas, pero descontando sábados y domingos, serán 10 días de trabajo. Los días se repartirán según se especifica en el cronograma a continuación:

5.3.1 CRONOGRAMA

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
Comprobación de condiciones de la zona, limpieza y preparación del sitio										
Instalación del sistema de contrapeso										
Instalación de los paneles										
Instalación de los inversores										
Instalación de las baterías										
Cableado DC/AC										
Supervisión y comprobación										
Formación en mantenimiento										

Tabla 14. Cronograma de la fase de implementación (Elaboración propia)

* Se marcan en amarillo las casillas correspondientes al día dedicado a cada actividad

5.3.2 MANTENIMIENTO

Siguiendo las peticiones del personal docente del centro, se apuntará a dos personas que serán clave en el mantenimiento de la instalación. Ellos son los que recibirán la formación principal y serán los encargados de realizar ciertas tareas de gran relevancia. El primero será el encargado del seguimiento en el día a día del sistema. Esto incluye actividades como la limpieza de los paneles solares, la monitorización de las baterías a través de la aplicación de WECO y pequeñas reparaciones si fueran necesarias. La segunda persona tendrá un rol más amplio. Será la encargada de proporcionar formación continua al resto de personal docente, mantener el contacto con los proveedores externos y asegurar el correcto funcionamiento del sistema a largo plazo.

En primer lugar, se señalan unas recomendaciones generales de uso para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema. Se sugiere limitar el uso de dispositivos fuera de las horas solares pico, así como en días nublados. Una solución puede ser que el centro haga una lista de aparatos que consideran imprescindibles, como la nevera o el congelador, para dar prioridad de uso a estos elementos. Los usuarios deben ser conscientes de los riesgos asociados a una sobrecarga sostenida y seguir estas indicaciones para minimizar la probabilidad de que se produzca esta situación.

En cuanto al cuidado específico de los distintos componentes del sistema, también se señalan varias indicaciones. Para los paneles solares, en épocas secas se estima conveniente realizar una inspección visual cada semana para detectar suciedad que pueda afectar a su funcionamiento. En épocas húmedas, esto puede hacerse cada dos meses. La limpieza debe llevarse a cabo con un paño seco o con agua y una esponja suave en caso de haber mucha suciedad. Importante evitar el uso de químicos o productos abrasivos.

Para que las baterías no descendan del 10% de su estado de carga, se debería revisar la aplicación de WECO tres veces al día: por la mañana, al mediodía y de noche. Se estima que la vida útil de las baterías es de 15 años, por lo que necesitarán un reemplazo futuro.

El inversor híbrido elegido incorpora un regulador de carga MPPT que sirve para evitar la sobrecarga de las baterías. Su mantenimiento incluye la limpieza mensual del ventilador con una brocha suave. Al igual que las baterías, su vida útil aproximada es de 15 años.

El personal del centro contará con la ayuda de African Energy para gestionar el reemplazo de las baterías y la organización de Ingenieros sin Fronteras estarán disponibles como apoyo técnico a largo plazo.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 COMPROBACIÓN DE INCLINACIÓN Y AZIMUT ESCOGIDOS

Basándose en las coordenadas de nuestro emplazamiento, PVSystem realiza un diagrama solar de altura/azimut.

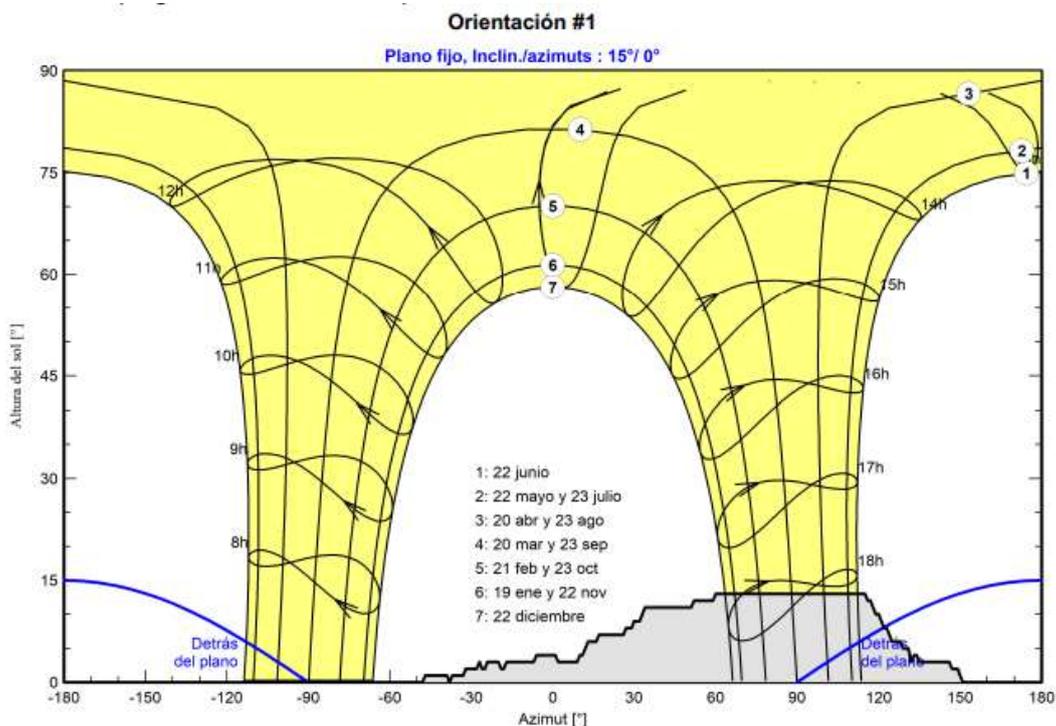


Ilustración 11. Diagrama de altura y azimut PVSystem (Simulación PVSystem)

El área amarilla representa las horas del día y del año en que el sol incide directamente sobre el plano. En nuestro caso, podemos decir que la zona amarilla cubre casi todo el recorrido solar entre las 7:00 y las 17:30 durante la mayor parte del año, lo cual indica una captación solar directa muy buena. La parte gris, que indica los momentos del año en los que el sol está por detrás del plano, ocurre sólo en horarios muy temprano por la mañana (6:00-7:00) y a final de tarde (17:30-18:00). Es un área mínima y por lo tanto no es preocupante.

6.2 BALANCES Y RESULTADOS PRINCIPALES

Los resultados obtenidos en la simulación, tanto en términos de producción como de equilibrio energético, confirman la viabilidad técnica del sistema de nuestra propuesta.

El sistema cuenta con 126 paneles solares con una capacidad total instalada de 73,71 kWp y conectados a inversores híbridos de 72 kW. La producción anual estimada es 90 865 kWh, con una producción específica de 1233 kWh/kWp/año. Esto refleja un buen rendimiento del sistema, que cuenta con un Performance Ratio (PR) de 65,98%, considerando pérdidas térmicas, sombreados, etc.

Del informe generado por PVSyst, podemos ver también que la fracción solar (SF) tiene un valor de 73,96%, lo que indica que más del 70% de la demanda energética de la escuela puede cubrirse directamente con energía solar. De esta energía generada, el 48,2% se utiliza de forma directa para cubrir el consumo instantáneo mientras que el 51,8% es almacenado en baterías, lo que permite su consumo en días nublados o por la noche. Hemos conseguido reducir el tiempo de uso de consumo de la red nacional de un 100% del tiempo a un 29,2%. Esto refleja que hemos logrado el objetivo principal de nuestro proyecto: ofrecer al centro una solución para dejar de depender del suministro energético inestable de la red para mejorar la calidad de la educación que son capaces de ofrecer. Estos resultados muestran un diseño que es capaz de equilibrar la generación con el almacenamiento de respaldo y muestra un uso eficiente de los paneles y las baterías para alcanzar la máxima autonomía energética posible. Aunque todavía existe una pequeña dependencia de la red, la mayor parte de la demanda es cubierta con energía renovable.

En la tabla de balances energéticos obtenida en el informe podemos observar una visión mensual y anual del rendimiento de nuestro sistema fotovoltaico.

En primer lugar, hay que destacar que los datos meteorológicos muestran una irradiación horizontal global acumulada de 1855,9 kWh/m², mientras que la irradiación en nuestro plano generador es de 1711 kWh/m², lo que muestra un aprovechamiento solar muy elevado. Nos

reiteramos en la buena elección de los valores de orientación e inclinación para nuestro diseño.

Es importante hacer mención a la columna de EUnused, la cual muestra la energía no utilizada cuando las baterías ya están llenas y este exceso no se inyecta en la red. Es bueno que sus valores sean tan pequeños ya que esto implica que no se está malgastando prácticamente nada de energía. En el capítulo siguiente se entrará más en detalle sobre posibles soluciones que se considerarán para reducir este número a un valor de 0 todos los meses.

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	EUnused MWh	EFrGrid MWh
Enero	155.5	81.91	27.54	171.3	155.0	7.25	10.43	6.66	0.000	3.77
Febrero	153.2	87.46	27.98	162.1	149.9	9.05	9.42	7.49	0.031	1.93
Marzo	179.9	99.95	28.37	182.5	169.7	11.09	10.43	9.76	0.155	0.67
Abril	171.8	91.40	28.18	166.5	154.7	10.20	10.10	9.26	0.031	0.84
Mayo	164.3	92.68	28.54	152.6	140.0	9.33	10.43	8.34	0.000	2.09
Junio	150.4	88.76	26.81	137.5	125.3	8.44	10.10	7.58	0.003	2.51
Julio	144.2	74.09	26.43	132.3	121.1	8.14	10.43	6.84	0.002	3.59
Agosto	141.4	80.22	25.83	134.2	122.8	8.25	10.43	7.32	0.058	3.11
Septiembre	147.5	75.73	26.22	145.9	134.9	8.94	10.10	7.25	0.373	2.84
Octubre	158.4	84.53	27.45	164.8	151.7	9.59	10.43	8.35	0.226	2.09
Noviembre	143.5	77.33	27.60	156.4	141.1	7.17	10.10	6.48	0.000	3.62
Diciembre	145.7	75.54	27.95	162.3	144.9	6.17	10.43	5.54	0.000	4.90
Año	1855.9	1009.60	27.41	1868.3	1711.0	103.61	122.85	90.87	0.879	31.99

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_User	Energía suministrada al usuario
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energía del sol
GlobInc	Global incidente plano receptor	EUnused	Energía no utilizada (batería llena, sin inyección de red)
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EFrGrid	Energía de la red

Ilustración 12. Tabla de balances energéticos PVSystem (Simulación PVSystem)

6.3 PÉRDIDAS

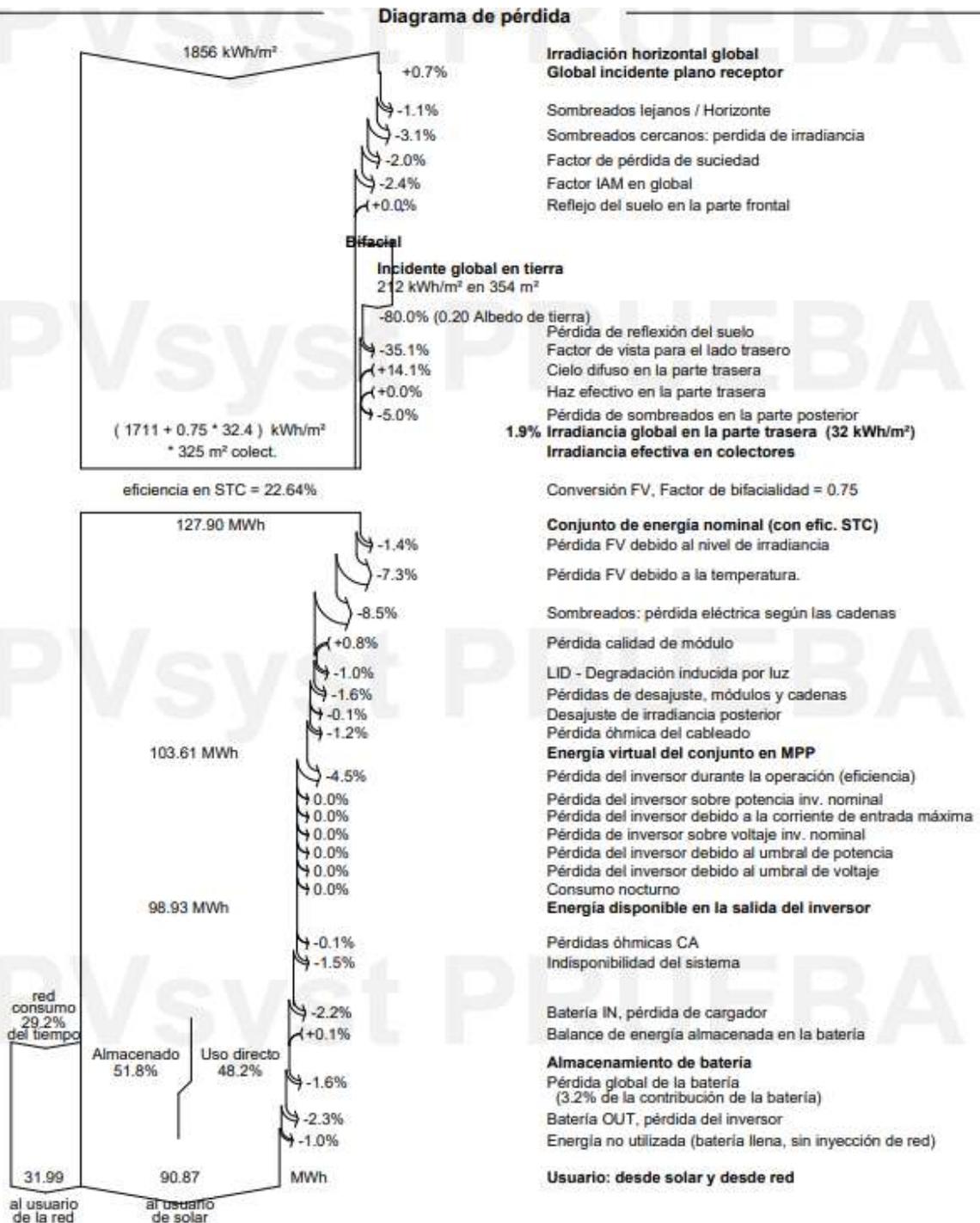


Ilustración 13. Diagrama de Sankey PVsyst (Simulación PVsyst)

En PvSyst los valores de pérdidas negativas no muestra ganancias, sino que reflejan reducciones relativas en la energía útil que se expresan como porcentajes negativos. De estas pérdidas las más importantes a destacar son:

- Pérdidas por temperatura de 7.3%: es una de las mayores pérdidas del sistema, ya que las altas temperaturas en Sierra Leona son responsables de reducir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos.
- Degradación inducida por la luz (LID): se trata de una degradación propia de los paneles solares que provoca una caída de potencia en los módulos fotovoltaicos frente a las primeras horas de exposición a la luz solar. En nuestro caso, el valor es de 0,7%, que es un valor aceptable y por lo tanto no supone una preocupación.
- Pérdidas en batería: se tratan de las pérdidas en el sistema de almacenamiento, al cargar y descargar las baterías. Se tratan de pérdidas del 2,2% (entrada) y del 1,6% (salida), valores razonables ya que el almacenamiento tiene una eficiencia del 96-97%.
- Pérdidas por sombreado de 8,5%: es importante establecer un diagrama de sombreados, ya que los paneles sufrirán pérdidas considerables por ello. A continuación, se explica este sombreado más en detalle.

Para el resto de los campos de la simulación, donde había que introducir manualmente los valores de factores de pérdida, se han escogido valores estándar.

6.4 SOMBREADO Y DISPOSICIÓN DE PANELES

A la hora de realizar el sombreado de los paneles, se ha decidido tomar un enfoque más conservador. En lugar de simularlo en dos tejados distintos, 70 módulos en el edificio de primaria y 56 en el edificio abandonado, se ha planteado como una única disposición de módulos. Se trata de un caso más desfavorable que el que realmente tenemos, ya que al haber más módulos cerca, las sombras serán más. Sin embargo, se ha decidido realizar de esta manera, ya que no estamos teniendo en cuenta posible bordillos o salientes existentes en los

tejados. Es una forma de compensar las sombras que no estamos considerando. Además, se ha escogido una separación de 2,5m entre cada uno, para facilitar una superficie de pasillo.

De la simulación, por lo tanto, obtenemos el siguiente esquema:

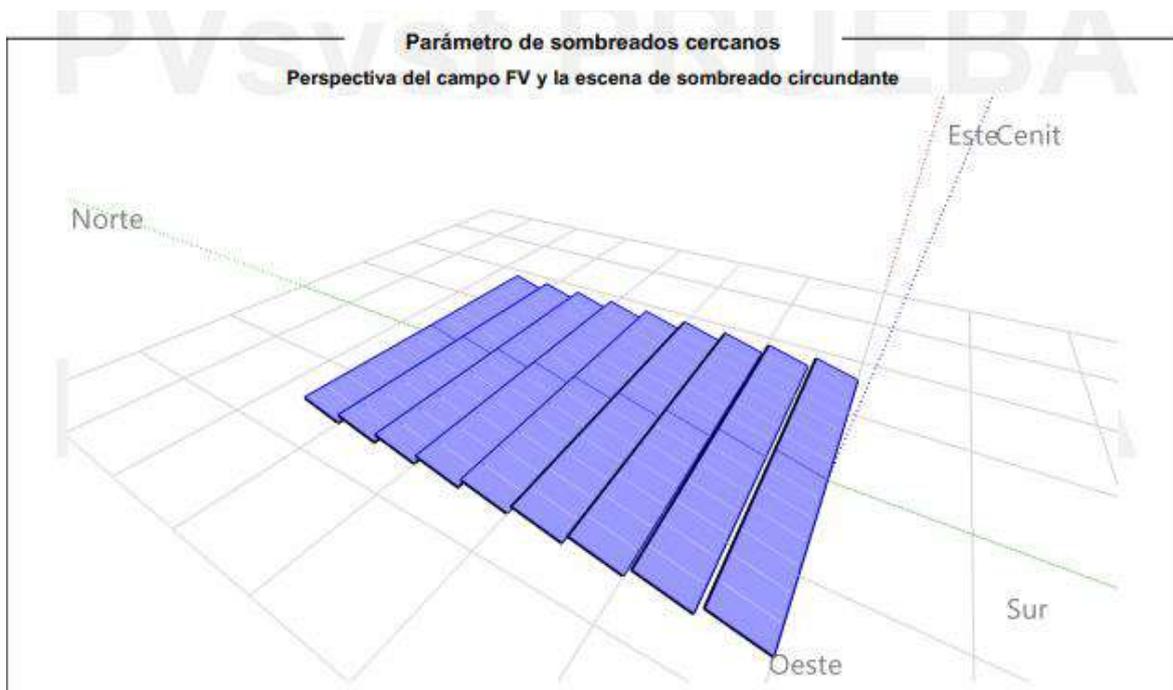


Ilustración 14. Disposición de los paneles para la simulación de sombreado (Simulación PVSyst)

En el informe encontramos también un diagrama de iso-sombreados, que muestra cómo afectan ciertos obstáculos a la radiación directa que reciben nuestros paneles solares. Nos permite ver en qué zonas horarias y posiciones del sol se producen las pérdidas por sombreado.

Según el gráfico entre las 7:00-9:00 y las 15:30-17:30 ocurren las pérdidas por sombreado más significativas, sobre todo durante los meses de diciembre y enero. Por el contrario, entre las 9:30-15:00, el impacto del sombreado es mínimo, lo que es positivo ya que estas son las horas de máxima generación solar y demanda energética del centro. El factor de sombreado

tiene un valor de 6,74%, que se considera aceptable y no compromete el rendimiento del sistema.

Por lo tanto, podemos decir que este gráfico confirma que el sistema presenta pérdidas por sombras moderadas y que se concentran principalmente en las primeras y últimas horas del día, por lo que tienen un impacto mínimo.

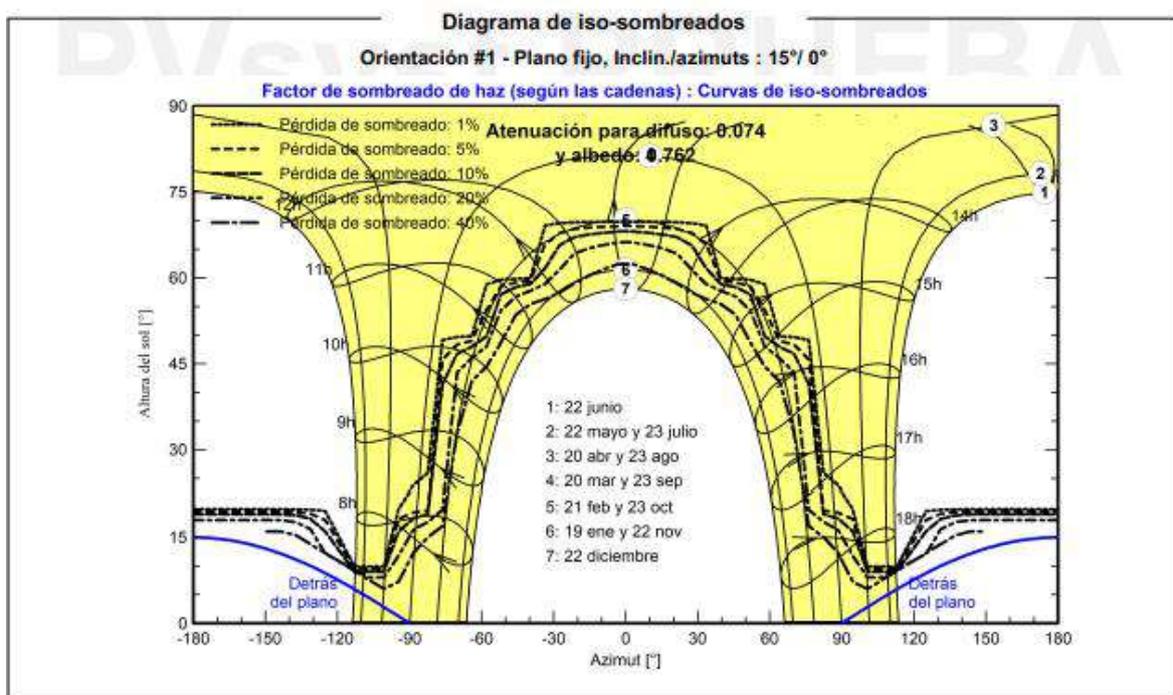


Ilustración 15. Diagrama de iso-sombreados (Simulación PVsyst)

6.5 VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS

Nuestra idea no es sólo dar al centro una solución inmediata, sino que la propuesta sea algo sostenible a largo plazo. Por ello, hemos realizado la simulación proyectada a 30 años, para ver el comportamiento de los distintos elementos con el paso del tiempo.

En la columna de la energía solar generada por el sistema (E Solar) podemos apreciar como disminuye el valor inicial de 90,7 MWh a un valor de 80,7 MWh en el año 30, esto es una

pérdida aproximada del 11%. La tasa de degradación de nuestras baterías es del 0,4% anual. El PR también se ve afectado por esta degradación, desciende de un 65,88% en el primer año a un valor de 58,6% después de 30 años. Este valor sigue siendo moderado así que podríamos decir que la vida útil de los paneles solares estaría entre los 25 y los 30 años.

Por el contrario, de la columna de SOWStat, que muestra el estado de desgaste del sistema a lo largo del tiempo, vemos que en el año 15 aparece un valor de 0. Este valor significa que un componente, en este caso muy probablemente las baterías, han llegado al final de su vida útil funcional. Aunque no se vea reflejado en los valores de esta tabla, los inversores también cuentan con una vida útil de 15 años según indican los fabricantes en su hoja de características (Anexo 5). Esto implicará que las baterías y los inversores tendrán que ser reemplazados ese año y el centro deberá prepararse para cubrir su coste con las reservas económicas disponibles.

Year	E Solar MWh	E User MWh	SOWStat	PR %	PR loss %
1	90.7	122.9	0.933	65.88	-0.17
2	90.4	122.9	0.867	65.65	-0.52
3	90.1	122.9	0.800	65.42	-0.86
4	89.8	122.9	0.733	65.19	-1.21
5	89.5	122.9	0.667	64.96	-1.56
6	89.1	122.9	0.600	64.73	-1.92
7	88.8	122.9	0.533	64.49	-2.28
8	88.5	122.9	0.467	64.25	-2.64
9	88.1	122.9	0.400	64.01	-3.01
10	87.8	122.9	0.333	63.77	-3.38
11	87.5	122.9	0.267	63.52	-3.75
12	87.1	122.9	0.200	63.27	-4.12
13	86.8	122.9	0.133	63.03	-4.50
14	86.4	122.9	0.067	62.77	-4.88
15	86.1	122.9	0.000	62.52	-5.27
16	85.7	122.9	0.934	62.26	-5.65
17	85.4	122.9	0.867	62.01	-6.04
18	85.0	122.9	0.801	61.75	-6.43
19	84.7	122.9	0.734	61.49	-6.83
20	84.3	122.9	0.667	61.23	-7.22
21	84.0	122.9	0.601	60.97	-7.61
22	83.6	122.9	0.534	60.71	-8.01
23	83.2	122.9	0.467	60.45	-8.40
24	82.9	122.9	0.401	60.19	-8.80
25	82.5	122.9	0.334	59.92	-9.20
26	82.2	122.9	0.267	59.66	-9.60
27	81.8	122.9	0.201	59.40	-9.99
28	81.4	122.9	0.134	59.13	-10.40
29	81.1	122.9	0.067	58.87	-10.80
30	80.7	122.9	0.001	58.60	-11.20

Ilustración 16. Simulación a 30 años PVSystem (Simulación PVSystem)

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En conclusión, podemos decir que, a lo largo del desarrollo del proyecto, se ha logrado cumplir gran parte de los objetivos establecidos en las distintas áreas de impacto.

El objetivo más importante era diseñar un sistema solar con baterías de almacenamiento que fuera capaz de responder a las necesidades específicas de la Goshen Academy. Aunque no ha sido posible cubrir el total de demanda energética de los dispositivos disponibles debido a la limitación de espacio útil para la instalación de los paneles solares, se ha encontrado una solución para garantizar aun así una gran calidad de enseñanza. Creando una lista de aparatos electrónicos que se consideraban esenciales para el desarrollo de la jornada de clases, se consiguió reducir la carga a un valor que permitía un diseño factible. Esta selección se realizó de manera cuidadosa y se aseguró de no comprometer de ninguna forma a la educación de los alumnos. El sistema es capaz de proporcionar iluminación adecuada en las aulas, el acceso a equipos informáticos, ... además de la posibilidad de ampliar el horario de uso de las instalaciones para las actividades extracurriculares y la formación de la comunidad.

Desde el ámbito económico, se ha planteado un modelo que reduce la dependencia de la red eléctrica nacional y los costes operativos, todo a través de una gestión viable de financiación para la inversión inicial y el posterior mantenimiento del sistema.

A nivel social, el impacto del proyecto promete ser significativo ya que la electrificación del centro contribuirá a mejorar la seguridad de los estudiantes y el personal y fortalecerá el espíritu de comunidad en Freetown. Todo ello además de ser un proyecto alineado con diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como la educación de calidad, el acceso a una energía limpia, el fortalecimiento de alianzas para el desarrollo y la acción por el clima.

En cuanto a la metodología utilizada en el diseño del proyecto, se considera que el haber seguido una estrategia de cálculo adecuada ha sido clave. Combinar estimaciones de prediseño manuales y de Excel, que nos daban una primera aproximación, con el posterior

uso de softwares más avanzados como PVSyst nos han permitido optimizar el rendimiento de nuestro sistema y validar su viabilidad técnica.

De cara al futuro, nuestro proyecto baraja varias posibilidades de mejora. En primer lugar, se pretende optimizar el uso excedente energético generado por el sistema cuando las baterías se encuentran plenamente cargadas y la energía producida no se está consumiendo. Se plantea investigar si es viable, tanto a nivel legal como técnico, vender esta energía sobrante a la red eléctrica nacional de Sierra Leona o incluso a otros usuarios de la comunidad. Esto permitiría no solo aprovechar al máximo la capacidad del sistema, sino también generar ingresos adicionales que puedan reforzar la sostenibilidad financiera del colegio a largo plazo. Como alternativa, se podría evaluar la opción de ampliar el banco de almacenamiento mediante la instalación de un mayor número de baterías, siempre que esta opción sea compatible con el sistema actual. Asimismo, se prevé analizar la disponibilidad de más espacio físico, como explanadas en la zona, tejados en otros edificios cercanos o incluso la construcción de nuevas estructuras, para ampliar la capacidad instalada con la incorporación de más paneles solares. El objetivo de esta ampliación es alcanzar la cobertura total de la demanda energética actual del centro, así como anticiparse a posibles incrementos en el consumo futuro.

En resumen, los resultados obtenidos evidencian que el desarrollo del proyecto ha sido satisfactorio, cumpliendo tanto con los objetivos técnicos como con las expectativas personales.

En la siguiente tabla se incluye un resumen de estas conclusiones:

Área de impacto	Resumen
Técnico	Se ha conseguido diseñar un sistema solar con baterías que cubre la demanda de los elementos eléctricos del centro

Técnico y social	La selección de dispositivos categorizados como esenciales permitió reducir la carga energética sin comprometer la calidad educativa
Económico	Se ha conseguido reducir la dependencia de la red nacional y los costes operativos
Social	Mejora de la seguridad de la comunidad y la integración social
Técnico, social, ambiental, económico y metodológico	Se alinea con varios ODS
Optimización y ampliación en un futuro	Posibilidad de vender el excedente energético o ampliar el banco de baterías y explorar el espacio físico para aumentar la capacidad fotovoltaica

Tabla 15. Resumen de conclusiones (Elaboración propia)

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [FORT24] Fort, D., Triemstra, J., Rosenberg, K., Sanders, M., Li, B., Smith, A., Callahan, J., Moore, K., Watkins, J., "Final Implementation Pre-Trip Plan – Goshen Academy, Sierra Leone", Engineers Without Borders - NCSU Chapter, Octubre 2024.
- [ENER24] Enerlife, "¿Cómo funcionan los paneles solares sin batería", Enerlife.cl, 2024. <https://enerlife.cl/como-funcionan-los-paneles-solares-sin-bateria/>
- [SOLA24] Solar Save Renewables, "Case Studies", SolarSaveRenewables.co.uk, 2024. <https://solarsaverenewables.co.uk/case-studies>
- [SOLA24b] Solar Planet, "The Missed Potential of Solar Panels Without Battery Storage", SolarPlanet.uk, 2024. <https://solarplanet.uk/the-missed-potential-of-solar-panels-without-battery-storage/>
- [SUND24] Sundta PV, "Beneficios y desventajas del almacenamiento de energía solar", Sundtapv.com, 2024. https://es.sundtapv.com/blog/solar-energy-storage-benefits-and-disadvantages_b19
- [FORT24] Fortress Power, "Fortress Power Energy Independence Solutions", FortressPower.com, 2024. <https://www.fortresspower.com/fortress-power-energy-independence-solutions/>
- [TOBA24] Toba System, "Comparativa entre generadores diésel y gasolina", TobaSystem.com, 2024. <https://tobasystem.com/blogs/noticias/comparativa-entre-generadores-diesel-gasolina>

- [HOGA24] Hogar Solar Energía, "Baterías en serie y paralelo", HogarSolarEnergia.es, 2024. <https://hogarsolarenergia.es/baterias-en-serie-y-paralelo/>
- [MODE24] Modern Energy, "Advantages and Disadvantages of Diesel Generators", ModernEnergy.co.in, 2024.
<https://www.modernenergy.co.in/advantages-and-disadvantages-of-diesel-generators/>
- [UDLA24] Universidad de Las Américas (UDLA), "Cómo los generadores diésel están afectando el aire que respiras", UDLA.edu.ec, 2024.
<https://sitios.udla.edu.ec/direccion-investigacion-vinculacion/2024/10/21/como-los-generadores-diesel-estan-afectando-el-aire-que-respiras/>
- [GENE24] Genesal Energy, "Costes operativos para grupos electrógenos", GenesalEnergy.com, 2024.
<https://genesalenergy.com/comunicacion/articulos/costes-operativos-para-grupos-electrogenos/>
- [CUER24] Cuerva Energía, "¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la energía eólica?", CuervaEnergia.com, 2024.
<https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/cuales-son-las-ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica/>
- [OXFA24] Oxfam Intermón, "Descubre las ventajas y desventajas de la energía hidráulica", Blog.OxfamIntermon.org, 2024.
<https://blog.oxfamintermon.org/descubre-las-ventajas-y-desventajas-de-la-energia-hidraulica/>

- [ATAL24] Atalayar, "Senegal inaugura el mayor parque eólico de África Occidental", Atalayar.com, 2024.
<https://www.atalayar.com/articulo/economia-y-empresas/senegal-inaugura-mayor-parque-eolico-africa-occidental/20200302170312144746.html>
- [RENO24] Renovables Blog, "¿Cuál es el papel de la hidroeléctrica en el desarrollo rural?", Renovables.blog, 2024.
<https://renovables.blog/mareomotriz/cual-es-el-papel-de-la-hidroelectrica-en-el-desarrollo-rural/>
- [LUXP24] Lux Powertek, "Ventajas y desventajas de las baterías solares para el almacenamiento de energía en el hogar", LuxPowertek.com, 2024.
<https://luxpowertek.com/es/blog/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-solares-para-el-almacenamiento-de-energia-en-el-hogar/>
- [J CWE24] JCW Electrical Services, "Case Study: Solar Installation", JCWElectricalServices.co.uk, 2024.
<https://www.jcwelectricalservices.co.uk/case-study-solar-installation/>
- [EWBG19] Engineers Without Borders Guatemala, "EWB-USA Solar Installation Project Report – Rural Schools", EWB-USA.org, 2019.
- [EWBFR23] Engineers Without Borders NCSU, "Dele School Solar System Implementation – Freetown", EWB-NCSU.org, 2023.
- [NSRD24] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "National Solar Radiation Database (NSRDB)", *nsrdb.nrel.gov*, 2024. [NSRDB](#)

- [WMO24] World Meteorological Organization (WMO), “Weather, climate and water data and services”, *public.wmo.int*, 2024.
<https://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=246>
- [NOAA24] National Centers for Environmental Information (NCEI), “Climate Data Online”, *ncei.noaa.gov*, 2024. [National Oceanic and Atmospheric Administration](https://www.noaa.gov/ncei/)
- [SOLA24] Foro SolarWeb, “Foro sobre energía solar fotovoltaica, térmica y autoconsumo”, 2024. <https://www.solarweb.net/forosolar/>
- [CHAT24] OpenAI, “ChatGPT – “Asistente de redacción y análisis técnico”, *chat.openai.com*, 2024. <https://chat.openai.com>
- [ENER24a] EnergySage, “How Many Watts Does a TV Use?”, *energysage.com*, 2024.
<https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-tv-use/>
- [HUNK24] Hunker, “Do Hot Plates or Single Burners Take Much Electricity?”, *hunker.com*, 2024. <https://www.hunker.com/13408268/do-hot-plates-or-single-burners-take-much-electricity/>
- [AIRK24] Air King, “Commercial Box Fan – Product Details”, *airkinglimited.com*, 2024. <https://www.airkinglimited.com/product/commercial-box-fans/>
- [ENER24b] EnergySage, “How Many Watts Does a Refrigerator Use?”, *energysage.com*, 2024. <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-refrigerator-use/>
- [PERP24] Perplexity AI, “Answering complex questions with trusted sources”, *perplexity.ai*, 2024. <https://www.perplexity.ai>

- [CLIM24] Climas y Viajes, “Clima de Sierra Leona: temperatura, precipitaciones, cuándo ir”, *climasyviajes.com*, 2024.
<https://www.climasyviajes.com/clima/sierra-leona>
- [SOLA24] SolarClue, “How Much Light Is Needed for Solar Panels to Work?”, *blog.solarclue.com*, 2024. <https://blog.solarclue.com/blog/how-much-light-is-needed-for-solar-panels-to-work/>
- [AUTO24] AutoSolar, “¿A qué hora empiezan a producir las placas solares?”, *autosolar.es*, 2024. <https://autosolar.es/mi-experiencia-placas-solares/a-que-hora-empiezan-a-producir-las-placas-solares>
- [FORT24] Fort, D., Triemstra, J., Rosenberg, K., Sanders, M., Li, B., Smith, A., Callahan, J., Moore, K., Watkins, J., "Final Implementation Pre-Trip Plan – Goshen Academy, Sierra Leone", Engineers Without Borders - NCSU Chapter, Octubre 2024.

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Informe PVSyst: Proyecto: Sierra Leona - Propuesta mejora energética –
73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 0
- ANEXO 2:** Informe PVSyst: Proyecto: Sierra Leona - Propuesta mejora energética –
73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 1 (simulación a 30
años)
- ANEXO 3:** Hoja de características paneles solares: 560-585W N-TOPCon
- ANEXO 4:** Hoja de características baterías: WECO DUAL VOLTAGE 5K3-XP
- ANEXO 5:** Hoja de características inversor: S6-EH1P8K-L-PRO
- ANEXO 6:** Hoja de características soporte módulos: Soporte inclinado abierto para
fachada Sunfer 15V

PVsyst - Informe de simulación

Sistema conectado a la red

Proyecto: Sierra Leona - Propuesta mejora energética

Variante: 73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 0

Cobertizos, conjunto único

Potencia del sistema: 73.7 kWp

Goshen Primary School - Sierra Leona



PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Resumen del proyecto

Sitio geográfico

Goshen Primary School
Sierra Leone

Situación

Latitud 8.42 °(N)
Longitud -13.16 °(W)
Altitud 28 m
Zona horaria UTC

Configuración del proyecto

Albedo 0.20

Datos meteo

Goshen Primary School
Meteonorm 8.2 (2010-2021), Sat=100% - Sintético

Resumen del sistema

Sistema conectado a la red

Orientación #1

Plano fijo

Inclinación/Azimut 15 / 0 °

Cobertizos, conjunto único

Sombreados cercanos

Según las cadenas : Rápido (tabla)
Efecto eléctrico 100 %

Necesidades del usuario

Carga constante fija
14.02 kW
Global
123 MWh/Año

Información del sistema

Generador FV

Núm. de módulos 126 unidades
Pnom total 73.7 kWp

Inversores

Núm. de unidades 9 unidades
Potencia total 72 kWca
Proporción Pnom 1.02

Paquete de baterías

Estrategia de almacenamiento : Autoconsumo
Núm. de unidades 60 unidades
Voltaje 106 V
Capacidad 3240 Ah

Resumen de resultados

Energía producida 90865 kWh/año
Energía usada 122850 kWh/año

Producción específica 1233 kWh/kWp/año

Proporción rend. PR 65.98 %
Fracción solar (SF) 73.96 %
Prop. rend. bifacial 65.09 %

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema	3
Definición del horizonte	6
Definición del sombreado cercano - Diagrama de iso-sombreados	7
Resultados principales	8
Diagrama de pérdida	9
Gráficos predefinidos	10
Diagrama unifilar	11



PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Parámetros generales

Sistema conectado a la red

Orientación #1

Plano fijo

Inclinación/Azimut 15 / 0 °

Modelos usados

Transposición Perez

Difuso Perez, Meteonorm

Circunsolar separado

Definición del sistema bifacial

Orientación #1

Sistema bifacial

Modelo Modelo 2D de cobertizos ilimitados

Geometría del modelo bifacial

Espaciado entre cobertizos	2.50 m
Ancho cobertizos	2.30 m
Ángulo límite de perfil	64.8 °
PCS	91.9 %
Altura sobre el suelo	0.20 m
Núm. de cobertizos	9 unidades

Definiciones del modelo bifacial

Albedo de tierra	0.20
Factor de bifacialidad	75 %
Fact. sombreado trasero	5.0 %
Fact. desajuste trasero	10.0 %
Fracción transparente de cobertizo	0.0 %

Almacenamiento

Tipo Autoconsumo

Sin reinyección de red

Estrategia de carga

Cuando hay un exceso de potencia solar

Cobertizos, conjunto único

Configuración de cobertizos

Núm. de cobertizos 9 unidades

Conjunto único

Ángulo límite de sombreado

Ángulo límite de perfil 64.8 °

Horizonte

Altura promedio 4.2 °

Tamaños

Espaciado entre cobertizos 2.50 m

Ancho de sensor 2.28 m

PCS medio 91.1 %

Banda inactiva superior 0.02 m

Banda inactiva inferior 0.02 m

Sombreados cercanos

Según las cadenas : Rápido (tabla)

Efecto eléctrico 100 %

Necesidades del usuario

Carga constante fija

14.02 kW

Global

123 MWh/Año

Características del generador FV

Módulo PV

Fabricante	Generic
Modelo	560-585W N-TOPCon
(Definición de parámetros personalizados)	
PanelAfricanEnergy.PAN	
Unidad Nom. Potencia	585 Wp
Número de módulos FV	126 unidades
Nominal (STC)	73.7 kWp
Módulos	18 cadena x 7 En serie

En cond. de funcionam. (50°C)

Pmpp	68.9 kWp
U mpp	285 V
I mpp	242 A

Inversor

Fabricante	Generic
Modelo	S6-EH1P8K-L-PRO
(Base de datos PVsyst original)	
Unidad Nom. Potencia	8.00 kWca
Número de inversores	9 unidades
Potencia total	72.0 kWca
Voltaje de funcionamiento	90-500 V
Proporción Pnom (CC:CA)	1.02
Reparto de potencia en este inversor	



PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Características del generador FV

Potencia FV total

Nominal (STC)	74 kWp
Total	126 módulos
Área del módulo	325 m ²

Potencia total del inversor

Potencia total	72 kWca
Número de inversores	9 unidades
Proporción Pnom	1.02

Almacenamiento de batería

Batería

Fabricante	Generic
Modelo	5K3 module LV/HV 52V / 105 Ah

Paquete de baterías

Núm. de unidades	2 en serie x 30 en paralelo
Descarga mín. SOC	20.0 %
Energía almacenada	277.3 kWh

Características del paquete de baterías

Voltaje	106 V
Capacidad nominal	3240 Ah (C10)
Temperatura	Fijo 20 °C

Cargador de entrada de batería

Modelo	Genérico
Máx. potencia de carga	38.0 kWcc
Eficiencia máx./Euro	97.0/95.0 %

Inversor batería a red

Modelo	Genérico
Máx. potencia descarga	14.5 kWca
Eficiencia máx./Euro	97.0/95.0 %

Pérdidas del conjunto

Pérdidas de suciedad del conjunto

Frac. de pérdida	2.0 %
------------------	-------

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia	
Uc (const)	20.0 W/m ² K
Uv (viento)	0.0 W/m ² K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global	19 mΩ
Frac. de pérdida	1.50 % en STC

Pérdida diodos serie

Caída de tensión	0.7 V
Frac. de pérdida	0.2 % en STC

LID - Degradación Inducida por Luz

Frac. de pérdida	1.0 %
------------------	-------

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida	-0.80 %
------------------	---------

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida	1.50 % en MPP
------------------	---------------

Pérdidas de desajuste de cadenas

Frac. de pérdida	0.15 %
------------------	--------

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Vidrio liso Fresnel, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.402	0.000

Pérdidas del sistema

Indisponibilidad del sistema

Frac. de tiempo	2.0 %
	7.3 días,
	3 periodos



PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Pérdidas de cableado CA

Línea de salida del inv. hasta el punto de inyección

Voltaje inversor	400 Vca tri
Frac. de pérdida	0.16 % en STC

Inversor: S6-EH1P8K-L-PRO

Sección cables (9 Inv.)	Alu 9 x 3 x 10 mm ²
Longitud media de los cables	10 m



PVsyst V8.0.13

VC0, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Definición del horizonte

Horizon from Meteonorm web service, Lat=8°25'15", Long=-13°9'47"

Altura promedio	4.2 °	Factor Albedo	0.76
Factor difuso	0.97	Fracción de albedo	100 %

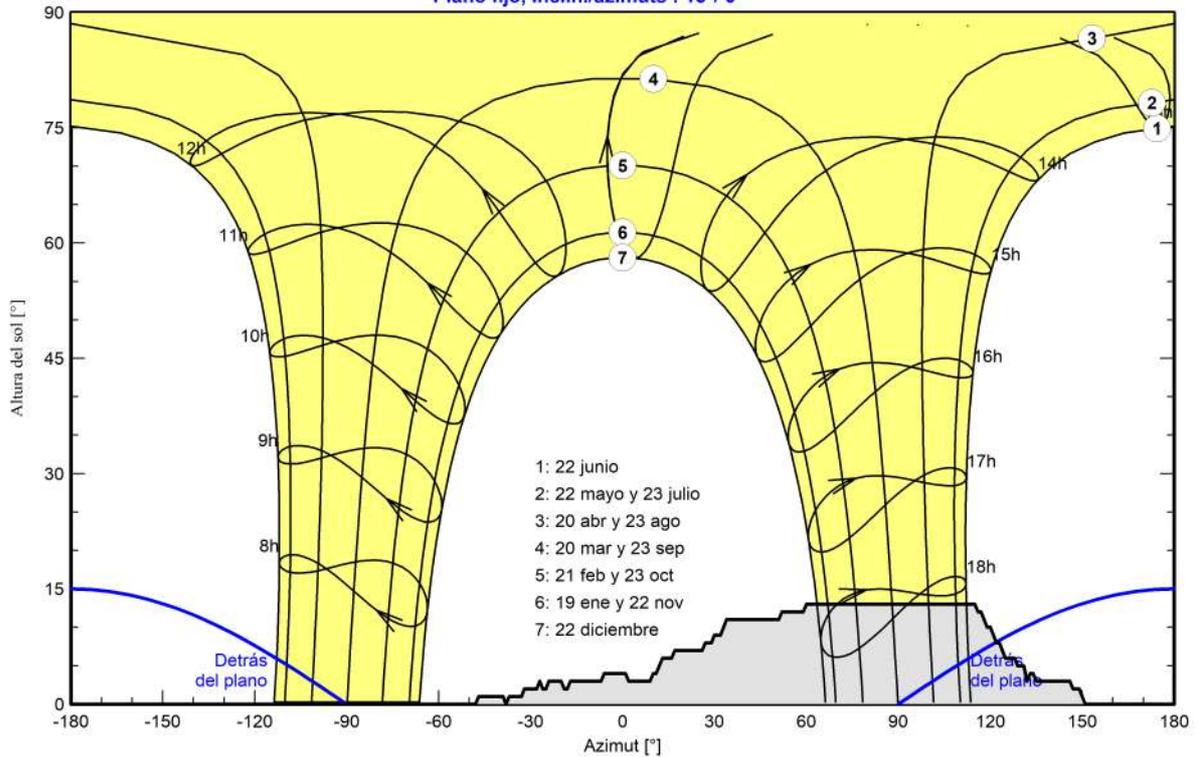
Perfil del horizonte

Azimut [°]	-180	-48	-47	-39	-37	-33	-32	-28	-27	-26	-25	-24	-20	-19
Altura [°]	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0
Azimut [°]	-18	-17	-7	-6	1	2	9	10	11	13	16	17	26	27
Altura [°]	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0
Azimut [°]	29	30	32	34	51	52	59	60	115	116	117	119	120	122
Altura [°]	8.0	9.0	9.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	12.0	12.0	10.0	10.0	8.0
Azimut [°]	123	125	128	129	131	132	133	134	135	146	147	149	151	179
Altura [°]	8.0	6.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	0.0	0.0

Recorridos solares (diagrama de altura / azimut)

Orientación #1

Plano fijo, Inclín./azimuts : 15°/ 0°





PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Parámetro de sombreados cercanos

Perspectiva del campo FV y la escena de sombreado circundante

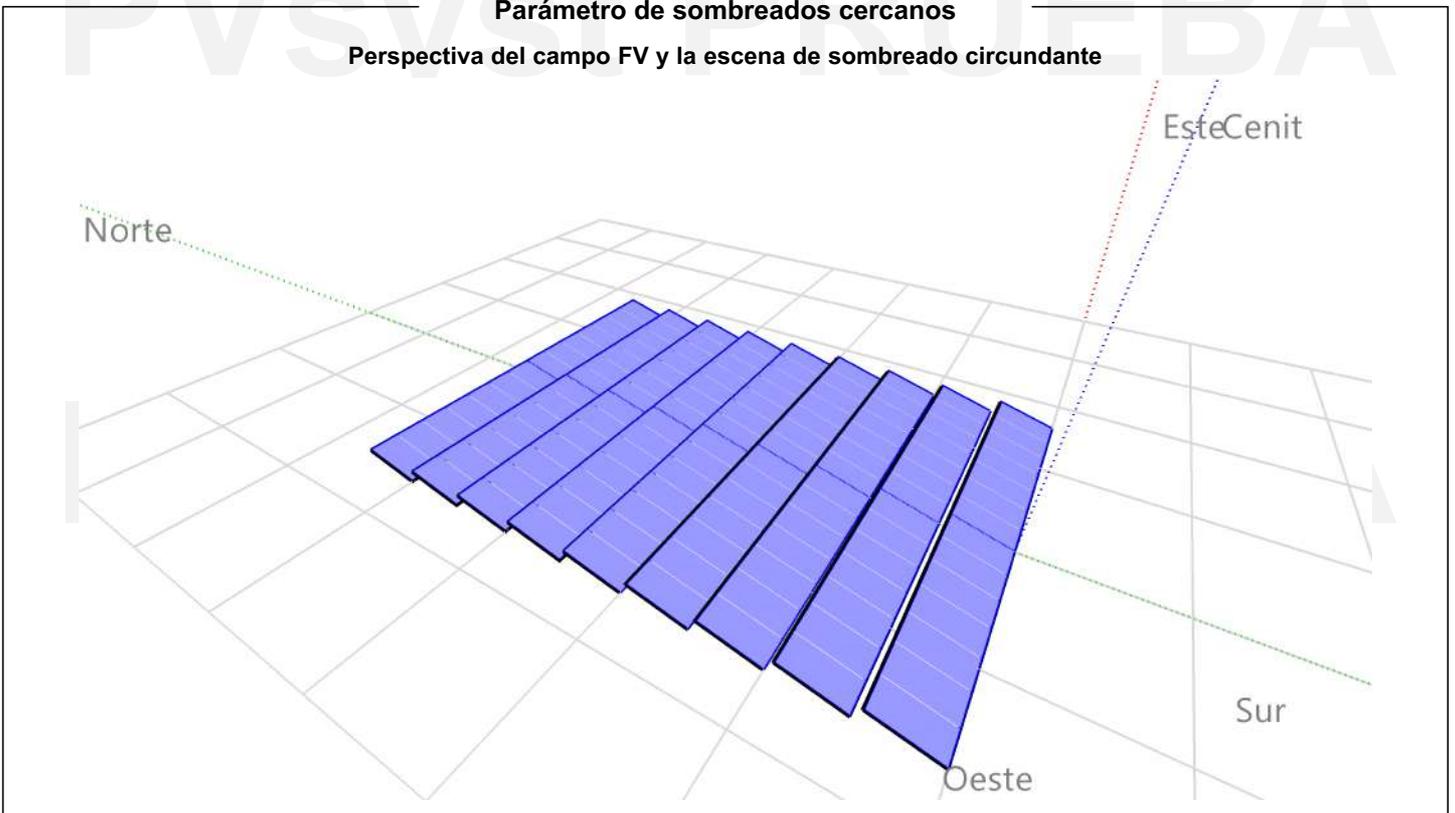
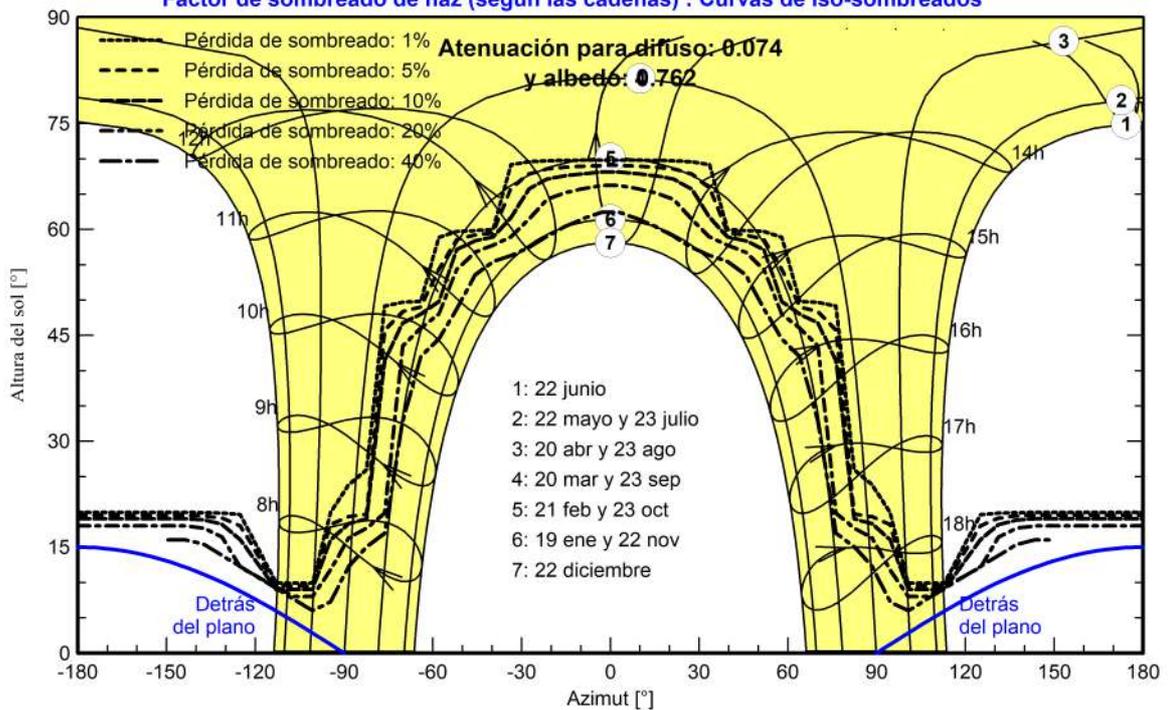


Diagrama de iso-sombreados

Orientación #1 - Plano fijo, Inclin./azimuts : 15°/ 0°

Factor de sombreado de haz (según las cadenas) : Curvas de iso-sombreados





PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Resultados principales

Producción del sistema

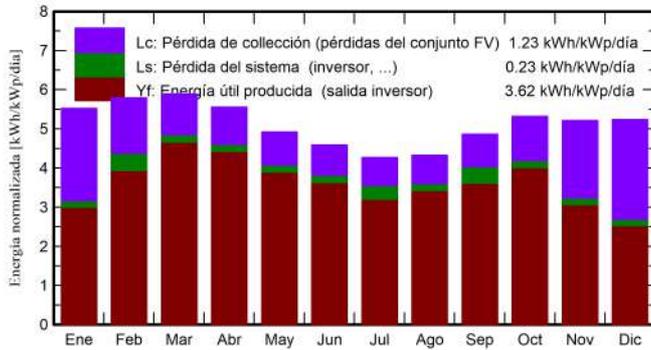
Energía producida 90865 kWh/año
Energía usada 122850 kWh/año

Producción específica 1233 kWh/kWp/año
Proporción rend. PR 65.98 %
Fracción solar (SF) 73.96 %
Prop. rend. bifacial 65.09 %

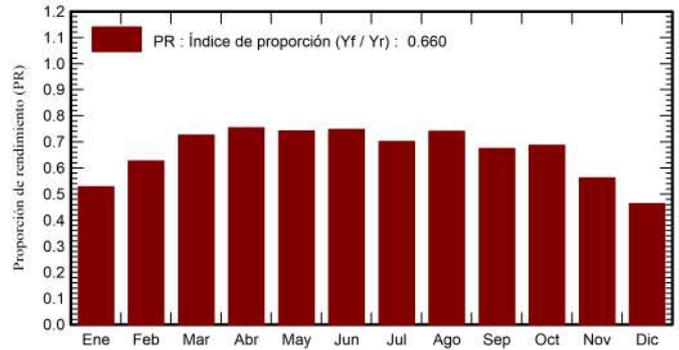
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)

Ciclos SOW 98.0 %
SOW estático 93.3 %
Duración de vida de batería 15.0 años

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	EUused	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Enero	155.5	81.91	27.54	171.3	155.0	7.25	10.43	6.66	0.000	3.77
Febrero	153.2	87.46	27.98	162.1	149.9	9.05	9.42	7.49	0.031	1.93
Marzo	179.9	99.95	28.37	182.5	169.7	11.09	10.43	9.76	0.155	0.67
Abril	171.8	91.40	28.18	166.5	154.7	10.20	10.10	9.26	0.031	0.84
Mayo	164.3	92.68	28.54	152.6	140.0	9.33	10.43	8.34	0.000	2.09
Junio	150.4	88.76	26.81	137.5	125.3	8.44	10.10	7.58	0.003	2.51
Julio	144.2	74.09	26.43	132.3	121.1	8.14	10.43	6.84	0.002	3.59
Agosto	141.4	80.22	25.83	134.2	122.8	8.25	10.43	7.32	0.058	3.11
Septiembre	147.5	75.73	26.22	145.9	134.9	8.94	10.10	7.25	0.373	2.84
Octubre	158.4	84.53	27.45	164.8	151.7	9.59	10.43	8.35	0.226	2.09
Noviembre	143.5	77.33	27.60	156.4	141.1	7.17	10.10	6.48	0.000	3.62
Diciembre	145.7	75.54	27.95	162.3	144.9	6.17	10.43	5.54	0.000	4.90
Año	1855.9	1009.60	27.41	1868.3	1711.0	103.61	122.85	90.87	0.879	31.99

Leyendas

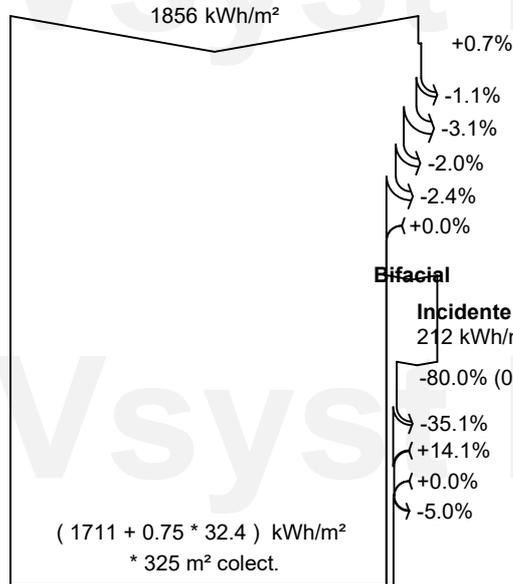
GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_User	Energía suministrada al usuario
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energía del sol
GlobInc	Global incidente plano receptor	EUused	Energía no utilizada (batería llena, sin inyección de red)
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EFrGrid	Energía de la red



PVsyst V8.0.13

VCO, Fecha de simulación: 15/06/25 19:52 con V8.0.13

Diagrama de pérdida



**Irradiación horizontal global
Global incidente plano receptor**

- Sombreados lejanos / Horizonte
- Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia
- Factor de pérdida de suciedad
- Factor IAM en global
- Reflejo del suelo en la parte frontal

**1.9% Irradiancia global en la parte trasera (32 kWh/m²)
Irradiancia efectiva en colectores**

Conversión FV, Factor de bifacialidad = 0.75

Conjunto de energía nominal (con efic. STC)

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura.

Sombreados: pérdida eléctrica según las cadenas

Pérdida calidad de módulo

LID - Degradación inducida por luz

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas

Desajuste de irradiancia posterior

Pérdida óhmica del cableado

Energía virtual del conjunto en MPP

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Pérdidas óhmicas CA

Indisponibilidad del sistema

Batería IN, pérdida de cargador

Balance de energía almacenada en la batería

Almacenamiento de batería

Pérdida global de la batería

(3.2% de la contribución de la batería)

Batería OUT, pérdida del inversor

Energía no utilizada (batería llena, sin inyección de red)

Usuario: desde solar y desde red

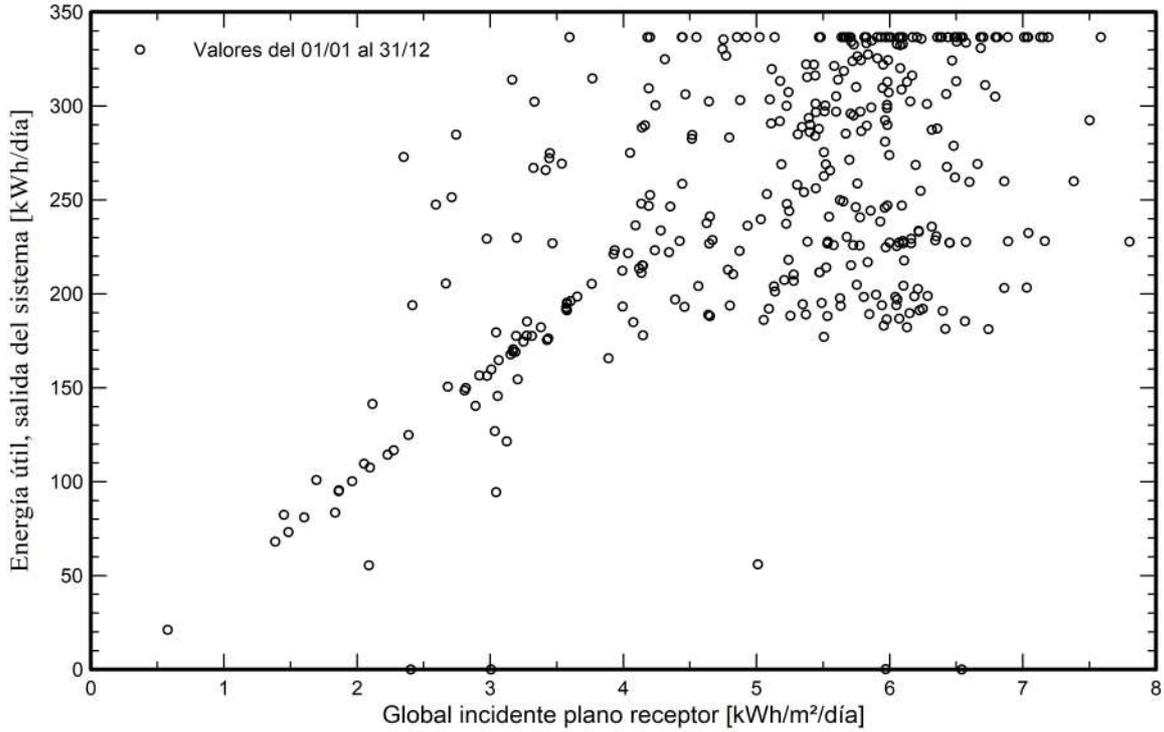


PVsyst V8.0.13

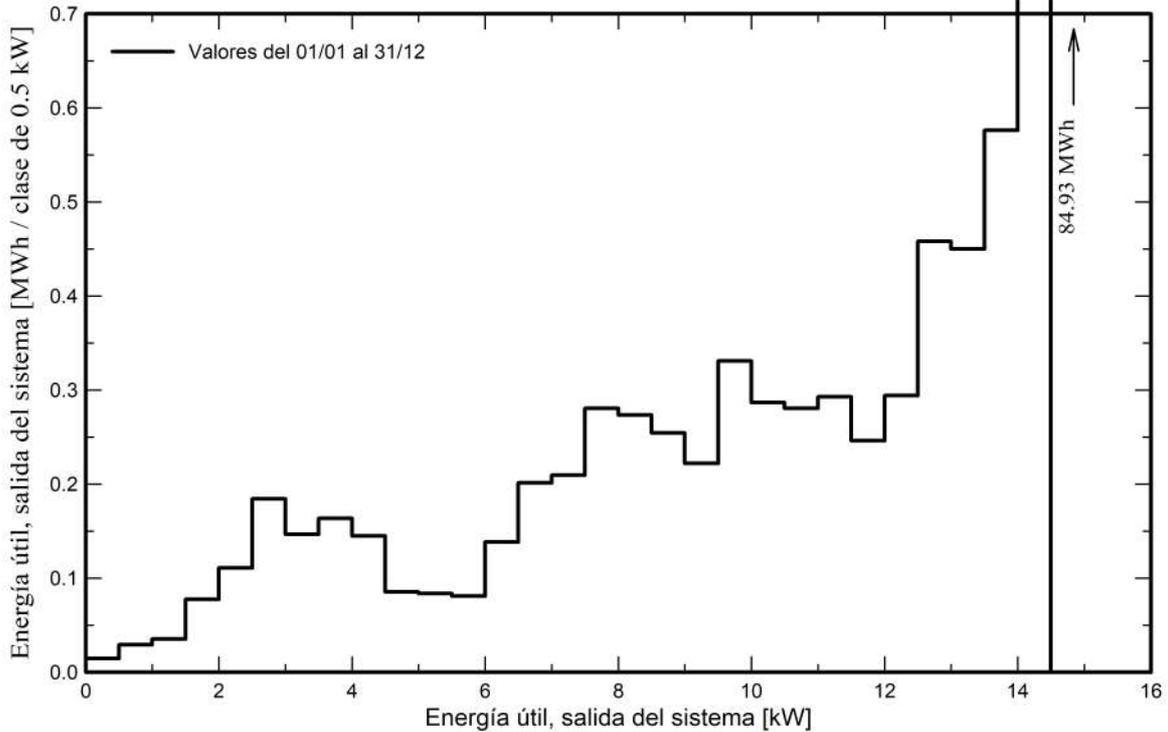
VC0, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Gráficos predefinidos

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema

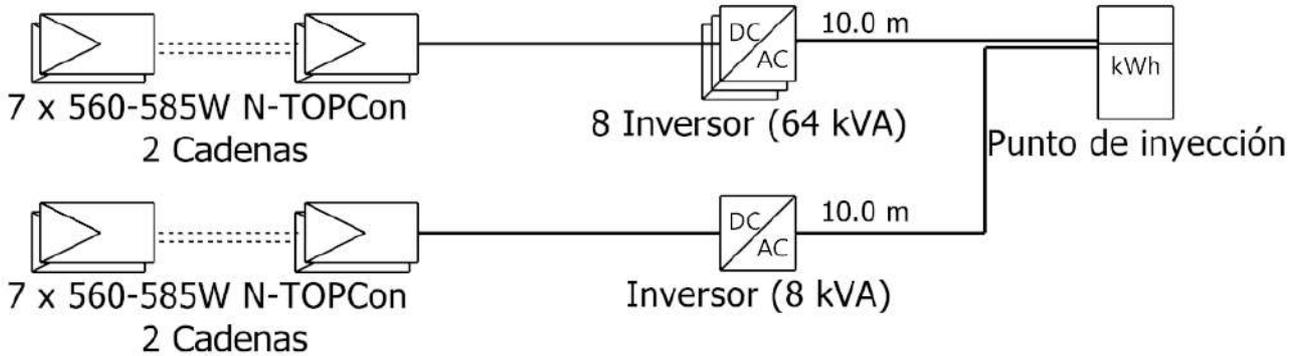




PVsyst V8.0.13

VC0, Fecha de simulación:
15/06/25 19:52
con V8.0.13

Diagrama unifilar



Módulo PV	560-585W N-TOPCon
Inversor	S6-EH1P8K-L-PRO
Cadena	7 x 560-585W N-TOPCon

Sierra Leona - Propuesta mejora
energética

VC0 : 73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 0

15/06/25

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Sierra Leona - Propuesta mejora enrgética

Variant: 73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 1

Sheds, single array

System power: 73.7 kWp

Goshen Primary School - Sierra Leone



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Project summary

Geographical Site
Goshen Primary School
Sierra Leone

Situation
Latitude 8.42 °(N)
Longitude -13.16 °(W)
Altitude 28 m
Time zone UTC

Project settings
Albedo 0.20

Weather data
Goshen Primary School
Meteonorm 8.2 (2010-2021), Sat=100% - Sintético

System summary

Grid-Connected System
Simulation for year no 1

Sheds, single array

Orientation #1
Fixed plane
Tilt/Azimuth 15 / 0 °

Near Shadings
According to strings : Fast (table)
Electrical effect 100 %

User's needs
Fixed constant load
14.02 kW
Global
123 MWh/Year

System information

PV Array
Nb. of modules 126 units
Pnom total 73.7 kWp

Inverters
Nb. of units 9 units
Total power 72 kWac
Pnom ratio 1.02

Battery pack
Storage strategy: Self-consumption
Nb. of units 60 units
Voltage 106 V
Capacity 3240 Ah

Results summary

Produced Energy 90722 kWh/year
Used Energy 122850 kWh/year

Specific production 1231 kWh/kWp/year

Perf. Ratio PR 65.88 %
Solar Fraction SF 73.85 %
Bifacial perf. ratio 65.00 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	6
Near shading definition - Iso-shadings diagram	7
Main results	8
Loss diagram	9
Predef. graphs	10
Aging Tool	11
Single-line diagram	13



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

General parameters

Grid-Connected System

Sheds, single array

Orientation #1

Fixed plane

Tilt/Azimuth 15 / 0 °

Sheds configuration

Nb. of sheds 9 units

Single array

Shading limit angle

Limit profile angle 64.8 °

Sizes

Sheds spacing 2.50 m

Sensitive width 2.28 m

Average GCR 91.1 %

Top inactive band 0.02 m

Bottom inactive band 0.02 m

Models used

Transposition Perez

Diffuse Perez, Meteorom

Circumsolar separate

Horizon

Average Height 4.2 °

Near Shadings

According to strings : Fast (table)

Electrical effect 100 %

Bifacial system definition

Orientation #1

Bifacial system

Model Unlimited Sheds 2D Model

Bifacial model geometry

Sheds spacing 2.50 m

Sheds width 2.30 m

Limit profile angle 64.8 °

GCR 91.9 %

Height above ground 0.20 m

Nb. of sheds 9 units

Bifacial model definitions

Ground albedo 0.20

Bifaciality factor 75 %

Rear shading factor 5.0 %

Rear mismatch loss 10.0 %

Shed transparent fraction 0.0 %

Storage

Kind Self-consumption

No grid reinjection

Charging strategy

When excess solar power is available

Discharging strategy

As soon as power is needed

User's needs

Fixed constant load

14.02 kW

Global

123 MWh/Year

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer Generic

Model 560-585W N-TOPCon

(Custom parameters definition)

PanelAfricanEnergy.PAN

Unit Nom. Power 585 Wp

Number of PV modules 126 units

Nominal (STC) 73.7 kWp

Modules 18 string x 7 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp 68.9 kWp

U mpp 285 V

I mpp 242 A

Inverter

Manufacturer Generic

Model S6-EH1P8K-L-PRO

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power 8.00 kWac

Number of inverters 9 units

Total power 72.0 kWac

Operating voltage 90-500 V

Pnom ratio (DC:AC) 1.02

Power sharing within this inverter



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

PV Array Characteristics

Total PV power

Nominal (STC)	74 kWp
Total	126 modules
Module area	325 m ²

Total inverter power

Total power	72 kWac
Number of inverters	9 units
Pnom ratio	1.02

Battery Storage

Battery

Manufacturer	Generic
Model	5K3 module LV/HV 52V / 105 Ah

Battery pack

Nb. of units	2 in series x 30 in parallel
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	277.3 kWh

Battery Pack Characteristics

Voltage	106 V
Nominal Capacity	3240 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C

Battery input charger

Model	Generic
Max. charg. power	38.0 kWdc
Max./Euro effic.	97.0/95.0 %

Battery to Grid inverter

Model	Generic
Max. disch. power	14.5 kWac
Max./Euro effic.	97.0/95.0 %

Array losses

Array Soiling Losses

Loss Fraction	2.0 %
---------------	-------

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance	
Uc (const)	20.0 W/m ² K
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s

DC wiring losses

Global array res.	19 mΩ
Loss Fraction	1.50 % at STC

Serie Diode Loss

Voltage drop	0.7 V
Loss Fraction	0.2 % at STC

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction	1.0 %
---------------	-------

Module Quality Loss

Loss Fraction	-0.80 %
---------------	---------

Module mismatch losses

Loss Fraction	1.50 % at MPP
---------------	---------------

Strings Mismatch loss

Loss Fraction	0.15 %
---------------	--------

Module average degradation

Year no	1
Loss factor	0.4 %/year
Imp / Vmp contributions	80% / 20%

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion	0 %/year
Vmp RMS dispersion	0 %/year

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.402	0.000

System losses

Unavailability of the system

Time fraction	2.0 %
	7.3 days,
	3 periods



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	0.16 % at STC
Inverter: S6-EH1P8K-L-PRO	
Wire section (9 Inv.)	Alu 9 x 3 x 10 mm ²
Average wires length	10 m



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Horizon definition

Horizon from Meteororm web service, Lat=8°25'15", Long=-13°9'47"

Average Height 4.2 ° Albedo Factor 0.76
Diffuse Factor 0.97 Albedo Fraction 100 %

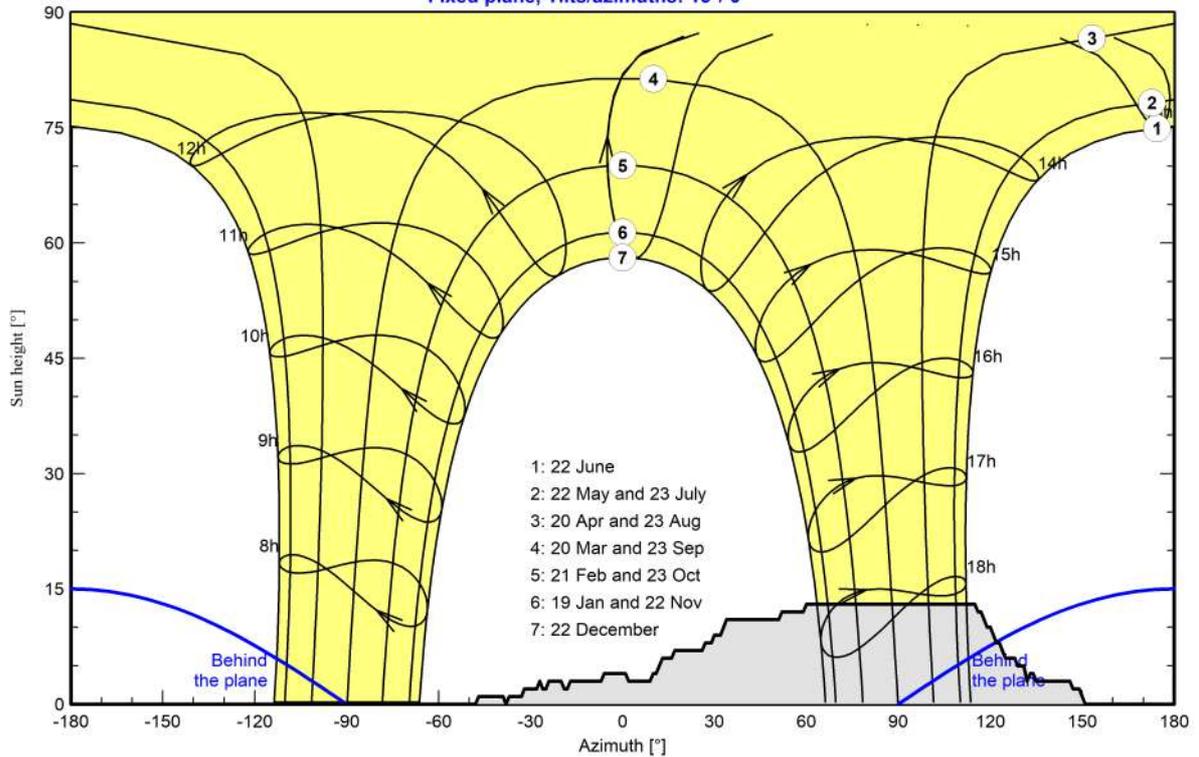
Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-48	-47	-39	-37	-33	-32	-28	-27	-26	-25	-24	-20	-19
Height [°]	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0
Azimuth [°]	-18	-17	-7	-6	1	2	9	10	11	13	16	17	26	27
Height [°]	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0
Azimuth [°]	29	30	32	34	51	52	59	60	115	116	117	119	120	122
Height [°]	8.0	9.0	9.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	12.0	12.0	10.0	10.0	8.0
Azimuth [°]	123	125	128	129	131	132	133	134	135	146	147	149	151	179
Height [°]	8.0	6.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	0.0	0.0

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 15°/ 0°



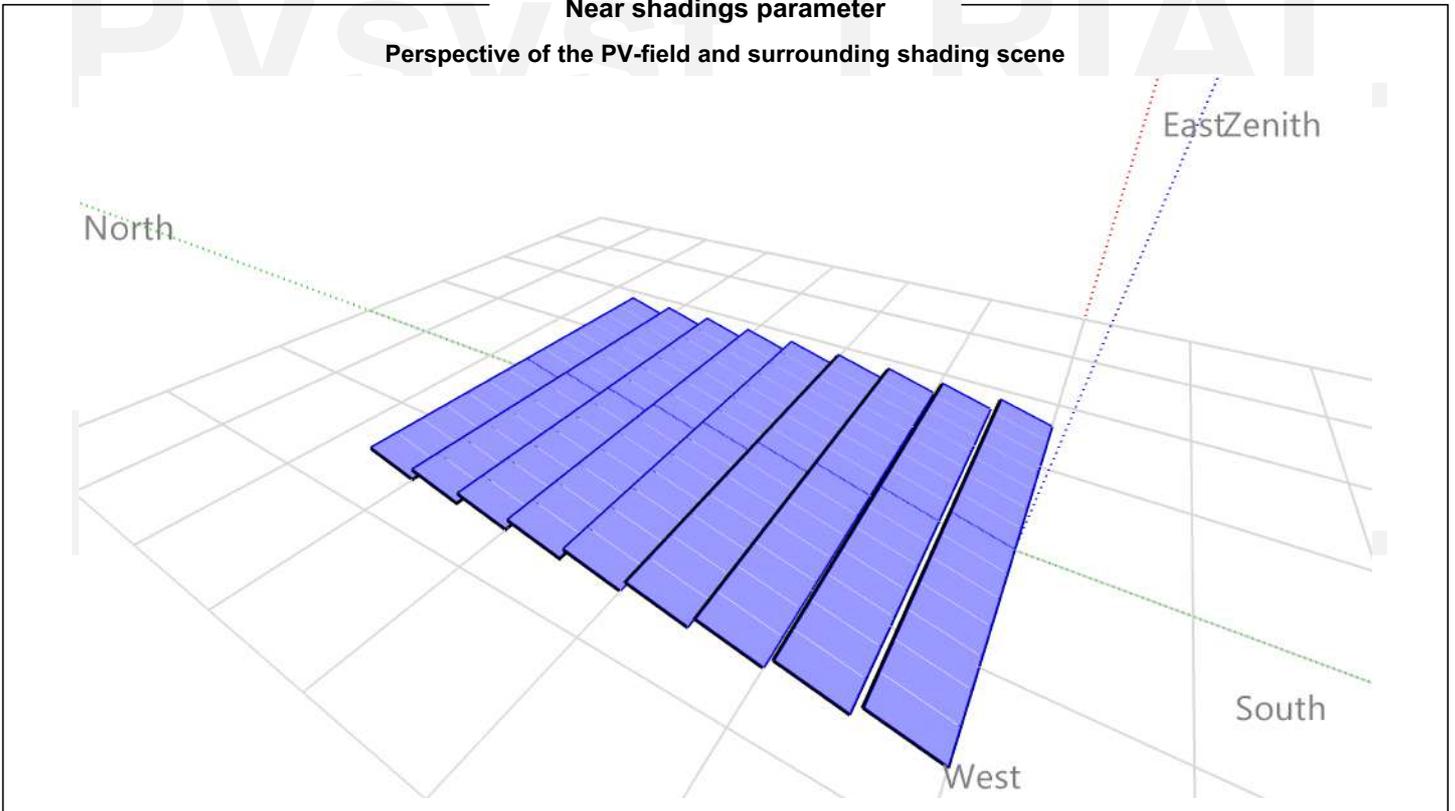


PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Near shadings parameter

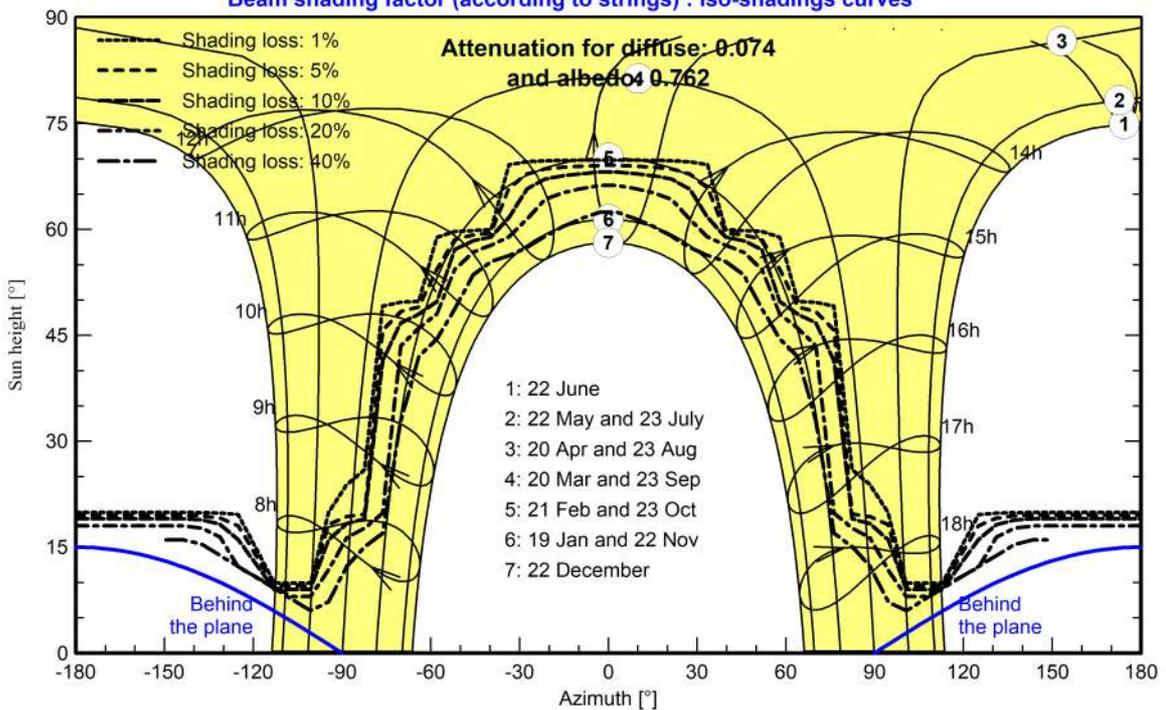
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1 - Fixed plane, Tilts/azimuths: 15°/ 0°

Beam shading factor (according to strings) : Iso-shadings curves





PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Main results

System Production

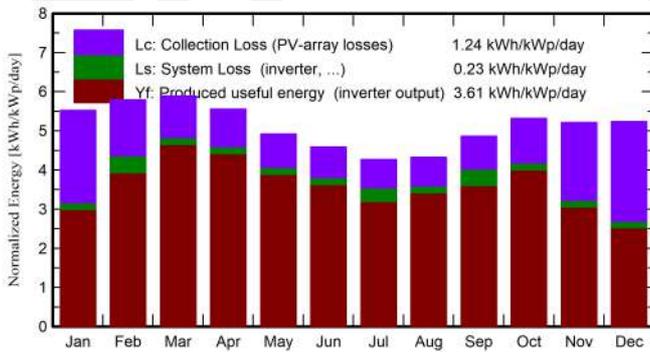
Produced Energy 90722 kWh/year
Used Energy 122850 kWh/year

Specific production 1231 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 65.88 %
Solar Fraction SF 73.85 %
Bifacial perf. ratio 65.00 %

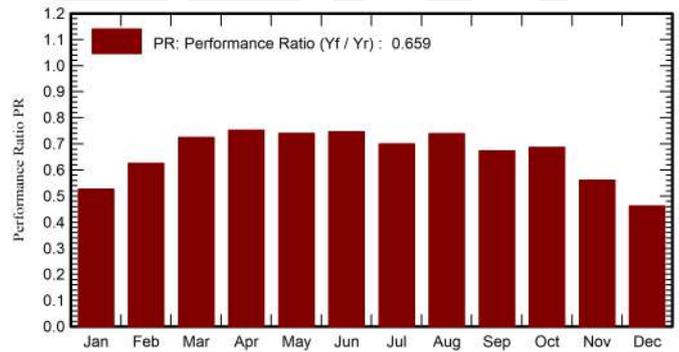
Battery ageing (State of Wear)

Cycles SOW 98.0 %
Static SOW 93.3 %
Battery lifetime 15.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	EUunused MWh	EFrGrid MWh
January	155.5	81.91	27.54	171.3	155.0	7.23	10.43	6.65	0.000	3.79
February	153.2	87.46	27.98	162.1	149.9	9.03	9.42	7.48	0.029	1.94
March	179.9	99.95	28.37	182.5	169.7	11.06	10.43	9.74	0.147	0.69
April	171.8	91.40	28.18	166.5	154.7	10.18	10.10	9.24	0.029	0.86
May	164.3	92.68	28.54	152.6	140.0	9.31	10.43	8.33	0.000	2.11
June	150.4	88.76	26.81	137.5	125.3	8.43	10.10	7.57	0.003	2.53
July	144.2	74.09	26.43	132.3	121.1	8.12	10.43	6.83	0.002	3.61
August	141.4	80.22	25.83	134.2	122.8	8.23	10.43	7.31	0.053	3.12
September	147.5	75.73	26.22	145.9	134.9	8.92	10.10	7.25	0.361	2.85
October	158.4	84.53	27.45	164.8	151.7	9.56	10.43	8.34	0.217	2.10
November	143.5	77.33	27.60	156.4	141.1	7.16	10.10	6.46	0.000	3.63
December	145.7	75.54	27.95	162.3	144.9	6.16	10.43	5.53	0.000	4.91
Year	1855.9	1009.61	27.41	1868.3	1711.0	103.41	122.85	90.72	0.841	32.13

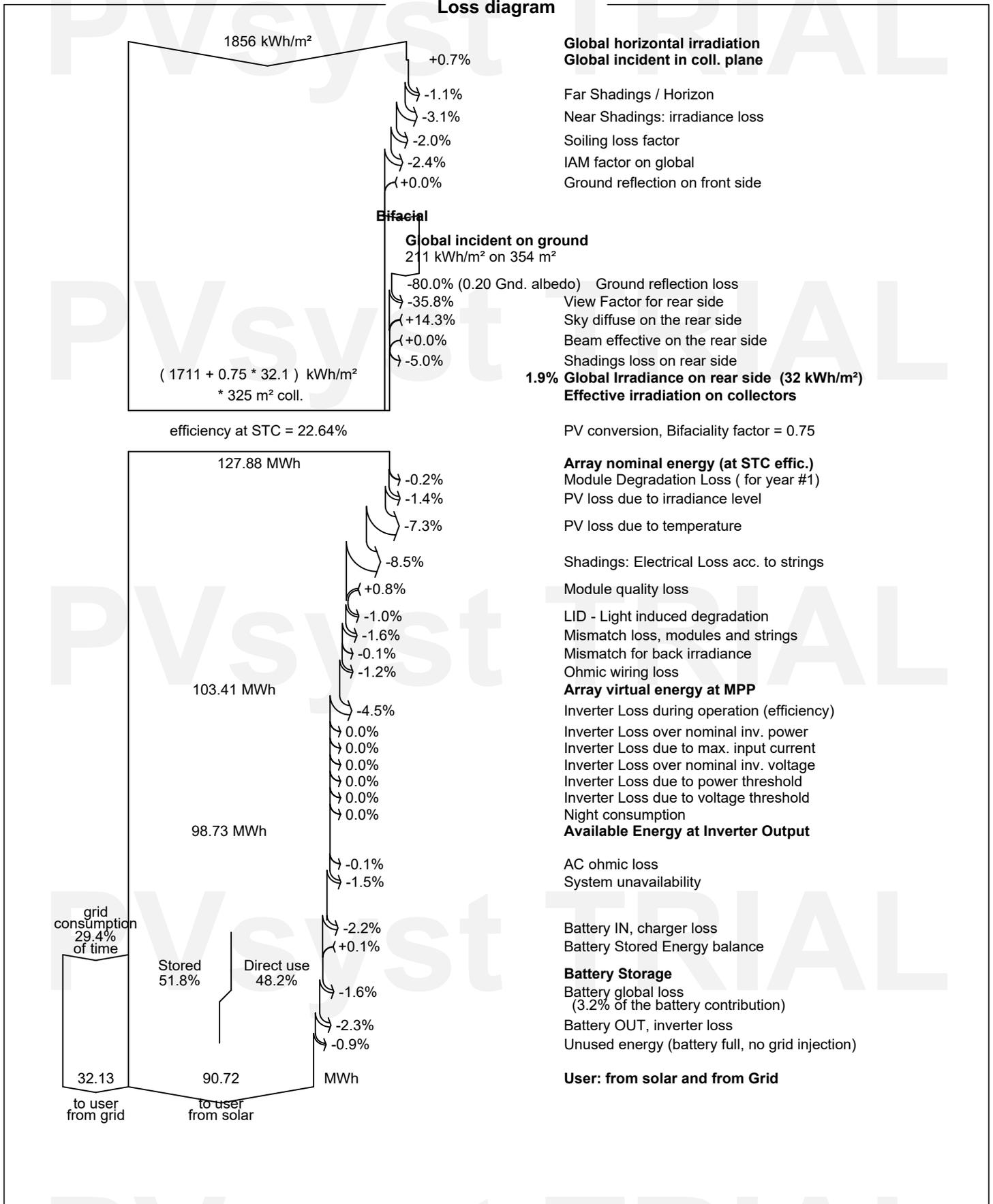
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	EUunused	Unused energy (battery full, no grid injection)
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date: 15/06/25 15:24 with V8.0.13



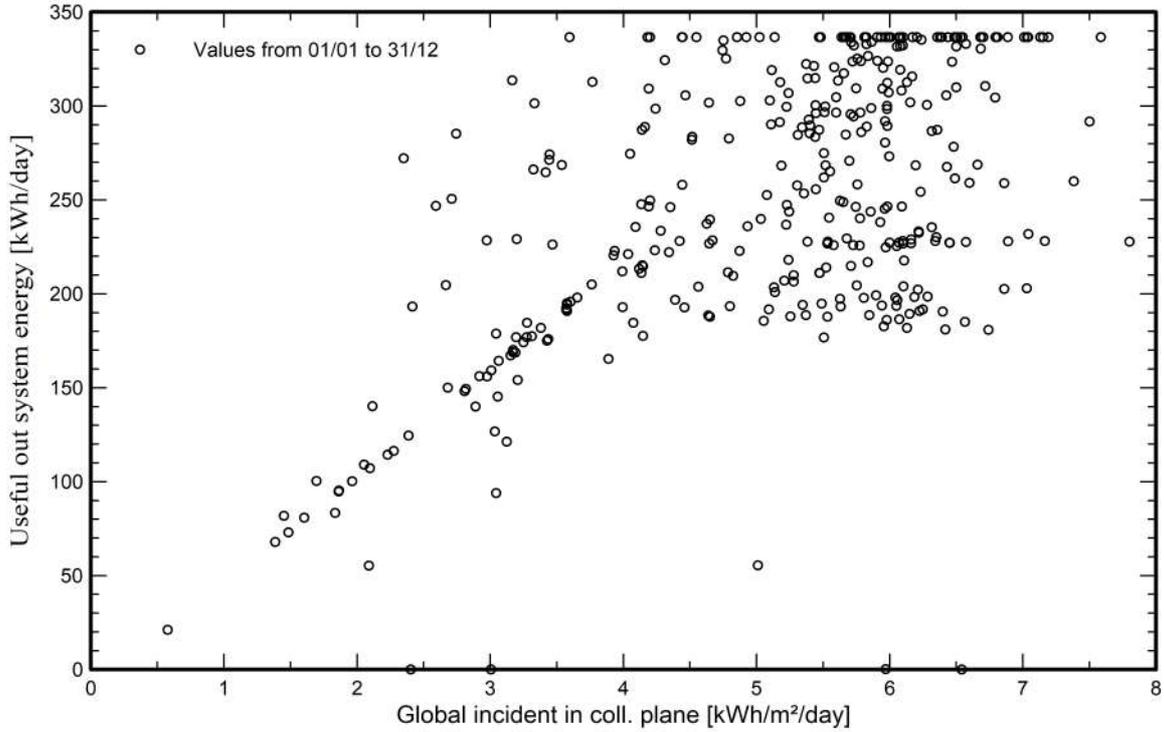


PVsyst V8.0.13

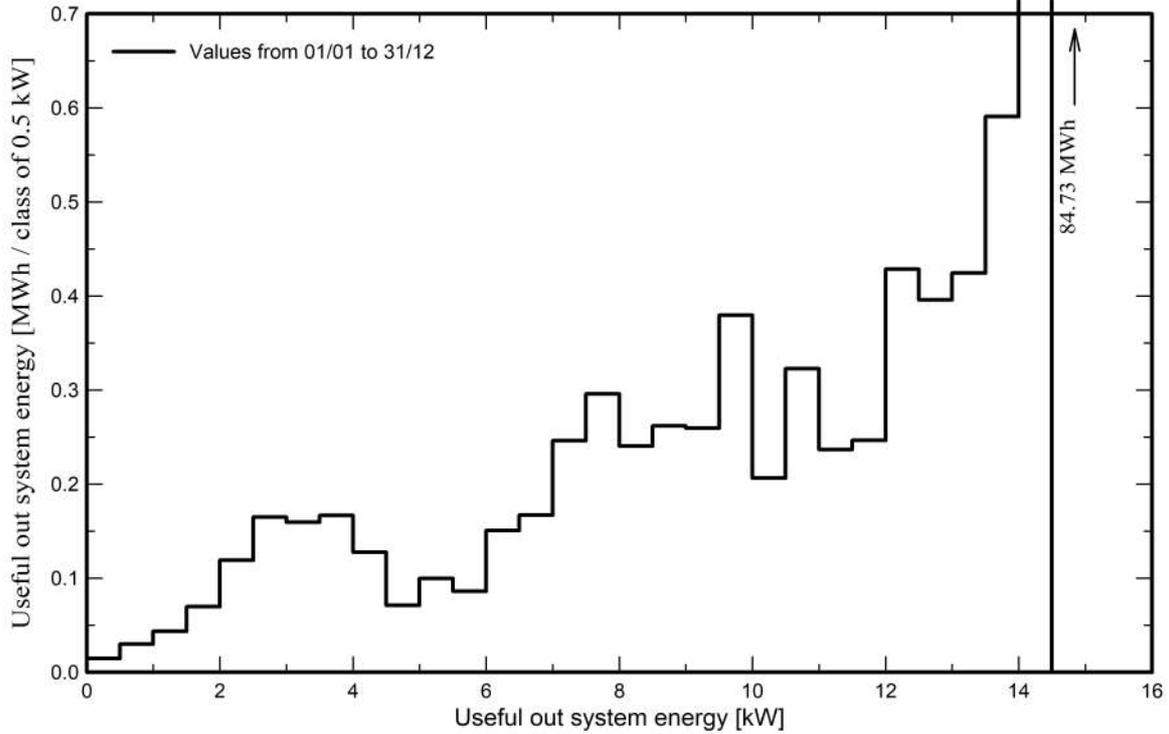
VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution





PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Aging Tool

Aging Parameters

Time span of simulation 30 years

Module average degradation

Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion 0 %/year

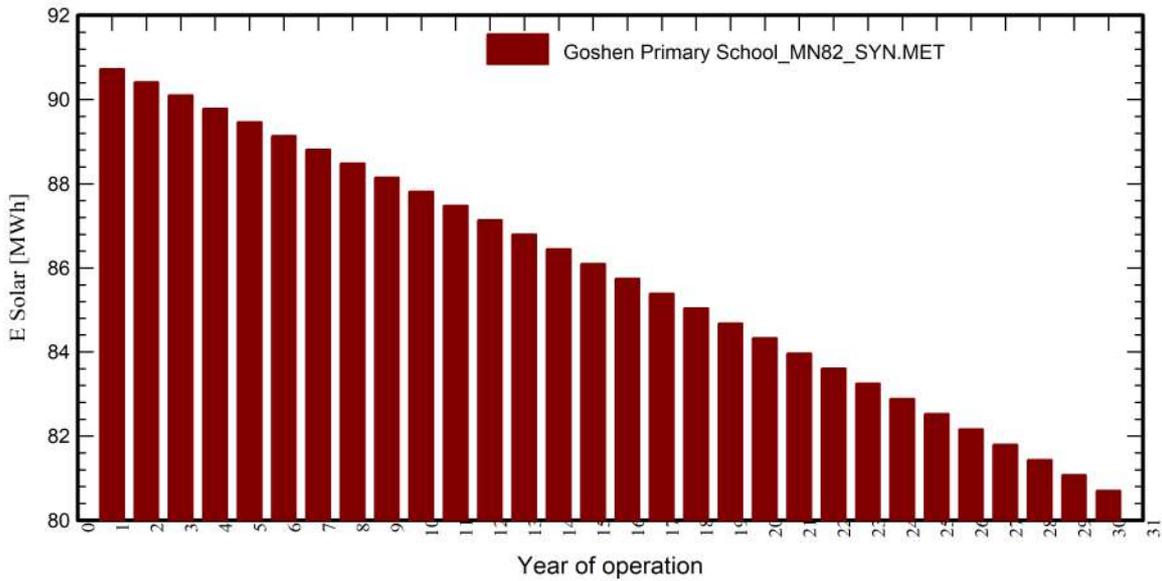
Vmp RMS dispersion 0 %/year

Weather data used in the simulation

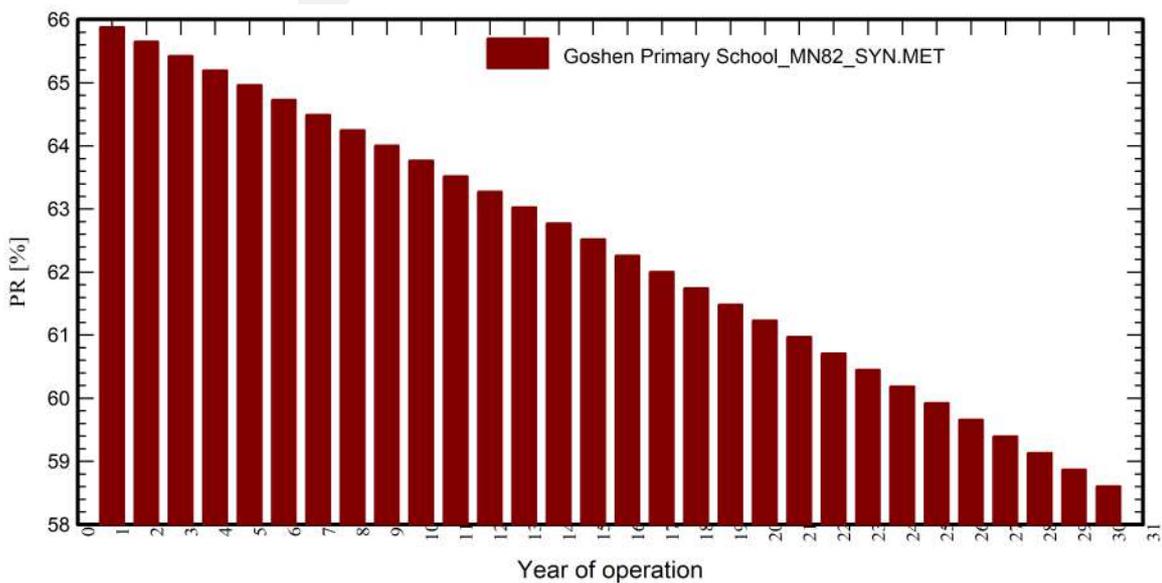
Goshen Primary School MN82 SYN

Years reference year

Energy from the sun



Performance Ratio





PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13

Aging Tool

Aging Parameters

Time span of simulation 30 years

Module average degradation

Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion 0 %/year

Vmp RMS dispersion 0 %/year

Weather data used in the simulation

Goshen Primary School MN82 SYN

Years reference year

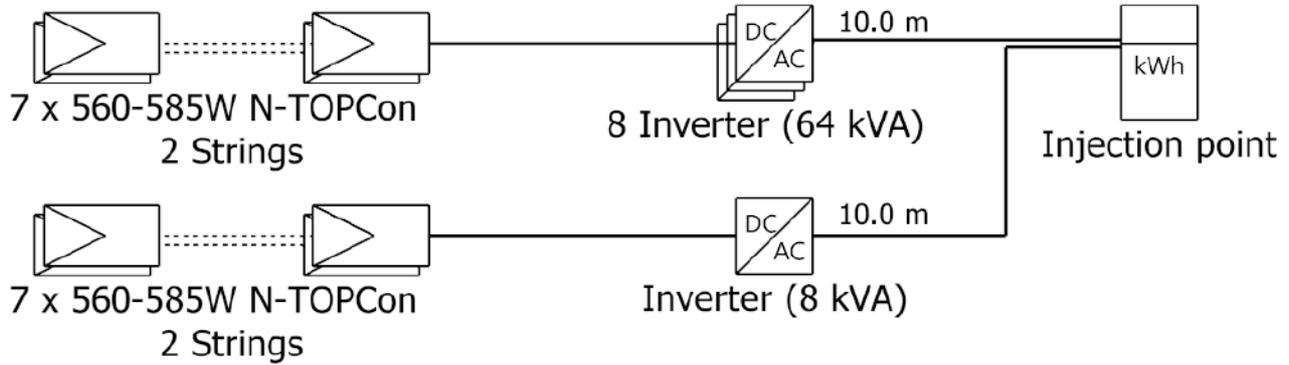
	E Solar	E User	SOWStat	PR	PR loss
Year	MWh	MWh		%	%
1	90.7	122.9	0.933	65.88	-0.17
2	90.4	122.9	0.867	65.65	-0.52
3	90.1	122.9	0.800	65.42	-0.86
4	89.8	122.9	0.733	65.19	-1.21
5	89.5	122.9	0.667	64.96	-1.56
6	89.1	122.9	0.600	64.73	-1.92
7	88.8	122.9	0.533	64.49	-2.28
8	88.5	122.9	0.467	64.25	-2.64
9	88.1	122.9	0.400	64.01	-3.01
10	87.8	122.9	0.333	63.77	-3.38
11	87.5	122.9	0.267	63.52	-3.75
12	87.1	122.9	0.200	63.27	-4.12
13	86.8	122.9	0.133	63.03	-4.50
14	86.4	122.9	0.067	62.77	-4.88
15	86.1	122.9	0.000	62.52	-5.27
16	85.7	122.9	0.934	62.26	-5.65
17	85.4	122.9	0.867	62.01	-6.04
18	85.0	122.9	0.801	61.75	-6.43
19	84.7	122.9	0.734	61.49	-6.83
20	84.3	122.9	0.667	61.23	-7.22
21	84.0	122.9	0.601	60.97	-7.61
22	83.6	122.9	0.534	60.71	-8.01
23	83.2	122.9	0.467	60.45	-8.40
24	82.9	122.9	0.401	60.19	-8.80
25	82.5	122.9	0.334	59.92	-9.20
26	82.2	122.9	0.267	59.66	-9.60
27	81.8	122.9	0.201	59.40	-9.99
28	81.4	122.9	0.134	59.13	-10.40
29	81.1	122.9	0.067	58.87	-10.80
30	80.7	122.9	0.001	58.60	-11.20



Single-line diagram

PVsyst V8.0.13

VC1, Simulation date:
15/06/25 15:24
with V8.0.13



PV module	560-585W N-TOPCon
Inverter	S6-EH1P8K-L-PRO
String	7 x 560-585W N-TOPCon

Sierra Leona - Propuesta mejora energética

VC1 : 73.71 kWp Solar PV - 72 kW Inverter Power - Year 1

15/06/25



African Energy
Africa's Reliable Source for Renewable Energy

AFR-NT10/72GDF

560-585W N-TOPCon

144 HALF-CELL BIFACIAL SOLAR MODULE

Characteristics



High temperature power generation performance
n-type modules have a relatively low temperature coefficient. In combination with the lower module operating temperature, there is power generation gain of around 2%.



PID Resistance
Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Higher Power
Output Module power increases 5-25% generally, bringing significantly lower LCOE and higher IRR.

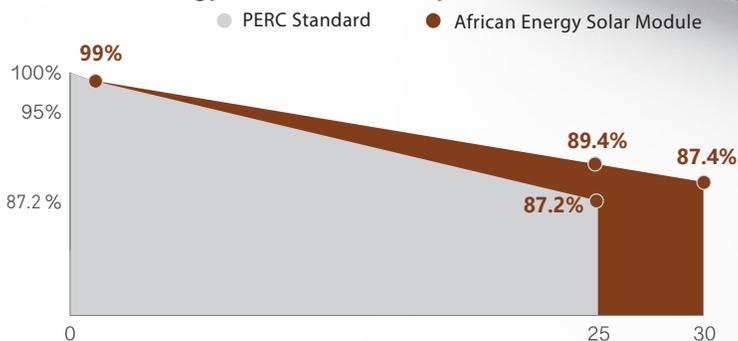


Excellent Reliability
15 Year Product Warranty ; 30 Year Linear Power Warranty ; 0.40% Annual Degradation Over 30 years.

22.65%

Max Module Efficiency

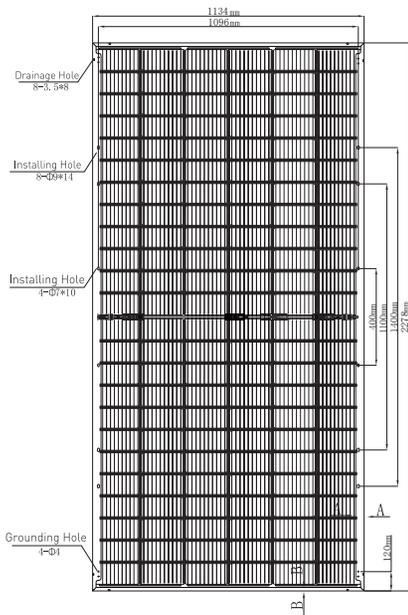
African Energy Linear Warranty



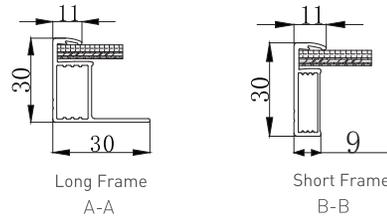
- 15 year Product Warranty
- 30 Year Linear Power Warranty
- 0.4% Annual Degradation Over 30 Years



ENGINEERING DRAWING (mm)

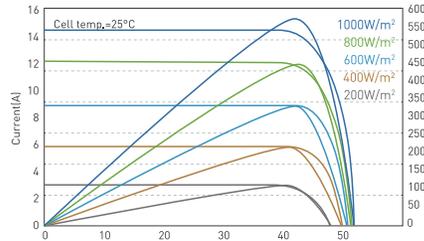


FRAME CROSS SECTION (mm)

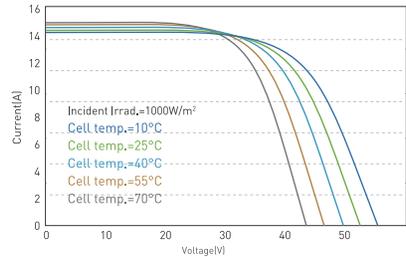


PARAMETER

I-V/P-V CURVE AT DIFFERENT IRRADIATION (580W)



I-V CURVE AT DIFFERENT TEMPERATURE (580W)



Electrical Characteristics (STC/NMOT)

PV module model	AFR-NT10/72GDF 560		AFR-NT10/72GDF 565		AFR-NT10/72GDF 570		AFR-NT10/72GDF 575		AFR-NT10/72GDF 580		AFR-NT10/72GDF 585	
	STC	NMOT										
Front Side												
Maximum Power - Pmax(W)	560	421	565	425	570	428	575	432	580	436	585	440.3
Open Circuit Voltage - Voc(V)	51.29	48.72	51.44	48.86	51.60	49.01	51.75	49.16	51.90	49.30	52.05	49.45
Short Circuit Current - Isc(A)	13.77	11.12	13.83	11.17	13.89	11.21	13.95	11.26	14.01	11.31	14.07	11.36
Voltage at Pmax-Vmp(V)	42.95	40.36	43.15	40.54	43.35	40.73	43.56	40.93	43.75	41.11	43.95	41.30
Current at Pmax-Imp(A)	13.04	10.43	13.09	10.47	13.15	10.52	13.20	10.56	13.26	10.60	13.31	10.66
Module Efficiency-ηm(%)	21.7		21.9		22.1		22.3		22.5		22.65	
Power Output Tolerance(W)	0~+5											

STC: Irradiance 1000 W/m², Module Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 NMOT: Irradiance 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s

Electrical Characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Maximum Power - Pmax(W)	616	622	627	633	638	632
Open Circuit Voltage - Voc(V)	51.29	51.44	51.60	51.75	51.90	52.05
Short Circuit Current - Isc(A)	15.13	15.20	15.26	15.32	15.38	15.20
Voltage at Pmax-Vmp(V)	42.95	43.15	43.35	43.56	43.75	43.95
Current at Pmax-Imp(A)	14.34	14.40	14.46	14.52	14.58	14.37

Temperature Characteristics

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45±2°C
Isc Temperature Coefficient	+0.045%/°C
Voc Temperature Coefficient	-0.25%/°C
Pmax Temperature Coefficient	-0.29%/°C

Mechanical Data

Number of Cells	N-type Mono-crystalline 144 pieces (72x2)
External Dimensions	2278X1134X30mm
Weight	32.8kg
Front glass	High transparency solar glass 2.0mm
Back glass	High transparency solar glass 2.0mm
Frame	Black/Silver, Anodized aluminum alloy
Junction Box	IP68 rated
Output Cables	4.0mm ² , 280 mm in length, length can be customized/UV resistant
Number Of Diodes	3
Wind/Snow Load	2400Pa/5400Pa
Connector	MC compatible
Bifaciality	80±5%

Maximum Ratings

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC
Max Series Fuse Rating	30A
Power measurement error	+/- 3%

Packaging Configuration

Modules per carton	2 pieces
Modules per 40' container	640 pieces



WECCO DUAL VOLTAGE 5K3-XP



DUAL VOLTAGE BATTERY



SINGLE MODULE LV/HV



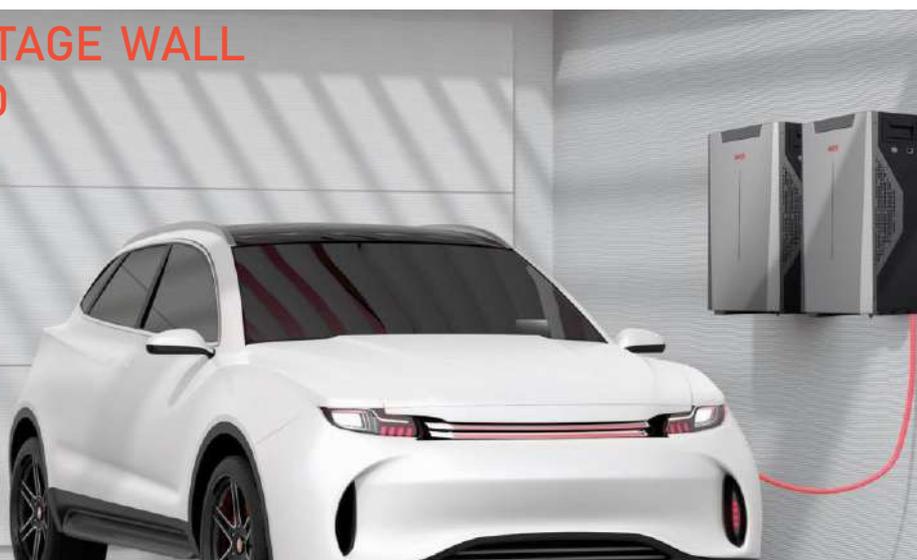
Basic Parameters	5K3 XP DUAL VOLTAGE
Module Capacity (kWh)*	5,3
Single Module Nominal Voltage (Vdc)	52
Application	Dual Voltage LV/HV
Modules Expandibility	<p>HV Mode: Max 16 Modules in Series with Single HV Box = One HV Cluster Max 10 HV Clusters composed by maximum 16 modules in serial connection each</p> <p>LV Mode: Max 15 Modules in Parallel without WeHub = One LV Cluster Max 7 LV Clusters composed by maximum 15 modules in parallel connection</p>
Cluster Net Capacity (with HV HUB)	Max 144 Modules per HV System
Voltage Range (Vdc)	47,5-58,4 BMS dynamically adjust the operating values
Cell Net Capacity (Ah)	105
Dimension (mm)	580 x 463 x 155
Weight (kg)	55,3
Charge / Discharge Current (A)	100/100 (200A 90sec)
Depth of Discharge	100%
Communication Port	RS485, CAN, 232, Wi-Fi
Modules in serial Connection	Up to 16 pcs (934Vdc Max String Voltage)
Discharge Temperature (°C)**	-20 ~ +60
Charge Temperature (°C)**	-10 ~ +55
Shelf Temperature (°C)**	-10 ~ +45
Humidity (%)	5 ~ 95 no condensation
Altitude (m)	< 3000
Design life	15 Years (25°C)
Expected Life Cycles @ STC	> 8000 (25°C/80%DoD >75% residual capacity)
Standard	IEC62619 CE IEC 61000 UN38.3
Features	Pre-Charge+Fuse LV+ Fuse HV+ Auto Contactor + Dual BMS+ Multi BMS FW management
	Applicable for Low Voltage and High Voltage systems, Four protection levels for HV Box, Real time balancing, Adaptive charge/discharge CAN logic, Three step adaptive charging logic, 2xDI/DO programmable ports, Mobile APP for monitoring, control, debugging, firmware update and historical information.
Notes	<p>*- Module net usable energy is managed by the BMS control logic to 100Ah **-See Warranty Terms and the Standard Test Conditions "STC" and the operative temperature</p> <p>All data subject to the change without prior notice, no part of this document can be copied or reproduced without written permission of WeCo 5K3-XP is designed to operate indoor or in Outdoor Cabinet approved by WeCo WeCo 5K3, Datasheet referred to the modules in production from June 2022</p>

LOW VOLTAGE STACKABLE



Battery Module	2	3	4	5	4+4	Up to 15
Battery System Capacity (kWh)*	10,4	15,6	20,8	26	41,6	Up to 79,5
Voltage Range (Vdc)	47,5 - 58,4					
Dimensions (mm)	580x463x330	580x463x495	580x463x660	580x463x825	(2x) 580x463x660	
Weight (Kg)	114,6	171,9	229,2	286,5	2x 229,2	
Depth of Discharge	Up to 100%					
Charge/Discharge (Recommended)	160	240	320	400	640	
Current (A) (Continuous)	210	300	390	480	780	
(Peak 30s)	300	380	470	560	940	
(Discharge Peak 5s)	400	600	800	1000	1600	
Communication	RS485, CAN, 232, Wifi					
Discharge Temperature (°C)	-20 ~ +60 **					
Charge Temperature (°C)	-10 ~ +55**					
Storage Temperature (°C)	-10 ~ +45**					
Humidity	5% ~ 95%					
Altitude (m)	< 3000					
Design life	10 Years (25°C)					
Expected Life Cycles @ STC**	> 8000 (25°C/80%DoD >75% residual capacity)					
Standards	IEC62619 / CE / IEC 61000 UN38.3					
*- Module net usable energy is managed by the BMS control logic to 100Ah, when more than 1 module it is calculated as 5.2kWh Nominal capacity **-See Warranty Terms and the Standard Test Conditions "STC" and the operative temperature						

LOW VOLTAGE WALL MOUNTED



HIGH VOLTAGE STACKABLE

5K 3XP



HV BOX***



Battery Module	4	5	6	7	8	8+8
Battery System Capacity (kWh)	20,8	26	31,2	36,4	41,6	83,2
Recommended Voltage (V)	min 200 max 232	min 250 max 290	min 300 max 348	min 350 max 406	min 400 max 464	min 800 max 928
Dimensions (mm)	580x463x660	580x463x825	580x463x990	580x463x1155	580x463x1320	(2x) 580x463x1320
Weight (Kg)	229,2	286,5	343,8	401,1	458,4	2x 458,4
Depth of Discharge	100%					
Charge/Discharge (A)	100 / 100					
Communication	RS485, CAN, 232, Wifi					
Discharge Temperature (°C)	-20 ~ +60**					
Charge Temperature (°C)	-10 ~ +55					
Storage Temperature (°C)	-10 +40**					
Humidity	5% ~ 95% no condensation Indoor Application Only					
Altitude (m)	< 3000					
Design life	10 Years (25°C)					
Expected Life Cycles @ STC**	> 8000 (25°C/80%DoD >75% residual capacity)					
Standards	IEC62619/ CE / UN38.3					

*- Module net usable energy is managed by the BMS control logic set to 100Ah

** - See Warranty Terms and the Standard Test Conditions "STC" and the operative temperature

*** - HV BIX is compulsory when the 5K3 XP is used in HV configuration

WeCo WiFi Monitoring
Bluetooth Set Up APP



WeCo FZ LLC
RAKEZ Business Centre
info@wecobatteries.ae
www.wecobatteries.ae



S6-EH1P8K-L-PRO

Solis Single Phase Low Voltage Energy Storage Inverters

New PRO model provides solutions for demanding power scenarios

Features:

- Generator connectivity with multiple input methods and automatic generator On/Off control
- Automatic UPS switching
- 10 second 200% surge power backup overload capability
- Supports 1ph and 3ph flexible connection with max 48kW in parallel
- Up to 190A max charge/discharge current
- 6 customisable charge/discharge time settings
- Compatible with lead-acid and lithium batteries, with multiple battery protection features
- Supports peak shaving control in both "self-use" and "generator" mode

Models:

S6-EH1P8K-L-PRO



DATASHEET

S6-EH1P8K-L-PRO

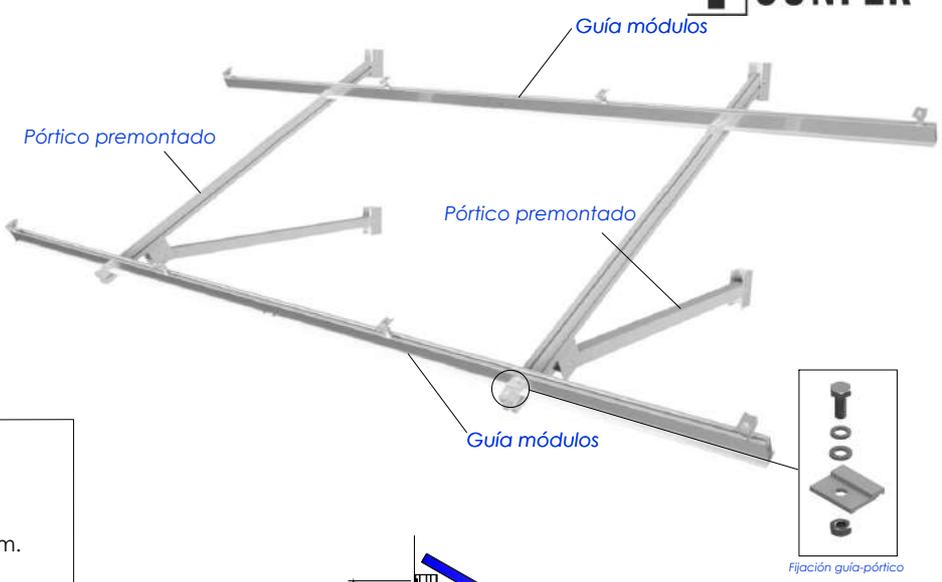
Models	8K
Input DC (PV side)	
Recommended max. PV array size	16 kW
Max. usable PV input power	12.8 kW
Max. input voltage	600 V
Rated voltage	330 V
Start-up voltage	90 V
MPPT voltage range	90-520 V
Max. input current	32 A / 20 A
Max. short circuit current	36 A / 30 A
MPPT number/Max. input strings number	2/3
Battery	
Battery type	Li-ion / Lead-acid
Battery voltage range	40-60 V
Max. charge / discharge power	8 kW
Max. charge / discharge current	190 A
Communication	CAN/RS485
Output AC (Grid side)	
Rated output power	8 kW
Max. apparent output power	8.8 kVA
Operation phase	1/N/PE
Rated grid voltage	220 V / 230 V
Rated grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated grid output current	36.4 A / 34.8 A
Max. output current	40 A
Power factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)
THDi	<2%
Input AC (Grid side)	
Input voltage range	187-253 V
Max. input current	50 A
Frequency range	45-55 Hz / 55-65 Hz
Output AC (Back-up)	
Rated output power	8 kW
Max. apparent output power	2 times of rated power, 10 s
Back-up switch time	<4 ms
Rated output voltage	1/N/PE, 220 V / 230 V
Rated frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated output current	36.4 A / 34.8 A
Max. output current	40 A
Max. AC Passthrough current	50 A
THDv (@linear load)	<2%
Efficiency	
Max. efficiency	> 96.9%
EU efficiency	> 96.5%
Protection	
DC reverse-polarity protection	Yes
Ground fault monitoring	Yes
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)	Yes ⁽¹⁾
Protection class/Over voltage category	I/II (PV and BAT), III (MAINS and BACKUP and GEN)
General Data	
Dimensions (W*H*D)	406*560*215 mm
Weight	26 kg
Topology	High frequency isolation (for battery)
Operating ambient temperature range	-40 ~ +60°C
Ingress protection	IP66
Cooling concept	Intelligent redundant fan-cooling
Max. operation altitude	4000 m
Grid connection standard	NRS 097-2-1, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530, MEA, PEA
Safety/EMC standard	IEC/EN 62109-1/-2, EN 61000-6-2/-3
Features	
DC connection	MC4 plug (PV port) / Terminal Block (BAT port)
AC connection	Terminal Block
Display	LED + APP
Communication	RS485, CAN, Optional: Wi-Fi, GPRS, LAN

(1) Activation required.

Ficha técnica

Soporte inclinado abierto para fachada

15V



- Soporte inclinado para fachada.
- Soporte premontado
- Anclaje a muro
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Valido para espesores de módulos de 28 hasta 40 mm.
- Tornillería de anclaje no incluida.
- Kits disponibles de 1 hasta 3 módulos.
- Ofrece dos posiciones de anclaje: 30° y 35°

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)

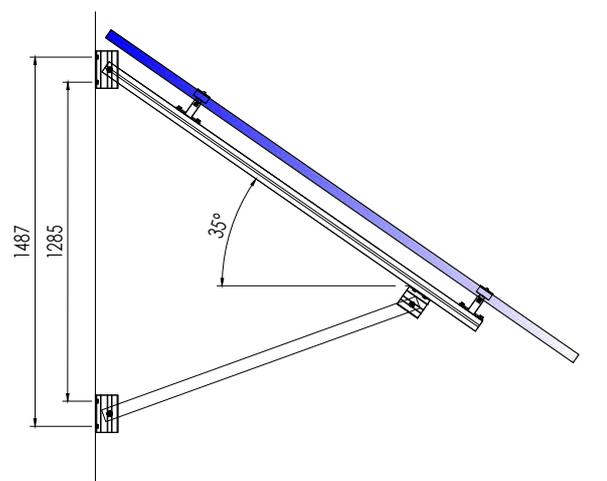
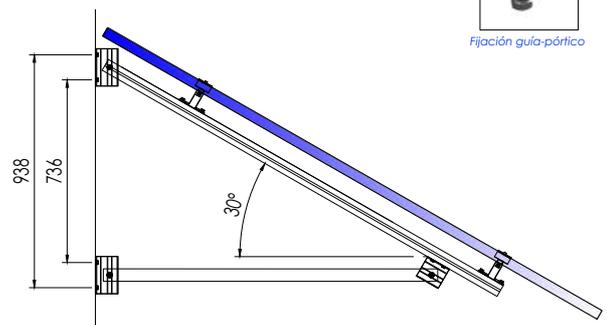
Materiales: Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6
Tornillería de acero inoxidable A2-70

*Comprobar el buen estado y la capacidad portante del muro antes de cualquier instalación.
Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada.*

Para módulos de hasta **2400x1150** - Sistema Kit

2400x1150 **Kit**

Carga de nieve: 40 kg/m²



Anclaje al muro mediante tornillo de hasta M10
Tornillos no incluidos



Cada triángulo debe fijarse con 4 puntos.
Comprobar la capacidad portante del muro.

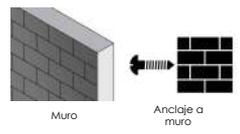
Par de apriete:

Tornillo Presor	7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal	20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal	40 Nm
Tornillo M6.3 Hexagonal	10 Nm

Herramientas necesarias:



Seguridad:



Marcado ES19/86524 CE

Reservado el derecho a efectuar modificaciones · Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

Velocidades de viento

Soporte inclinado abierto para fachada

15V

Sistema kit



- **Cargas de viento:** Según túnel del viento en modelo computacional CFD
- **Cálculo estructural:** Modelo computacional comprobado mediante EUROCÓDIGO 9 "PROYECTO ESTRUCTURAS DE ALUMINIO"

 Cuadro de velocidades máx. admisibles de viento				
Tamaño del módulo 	1	2	3	nº de módulos
2400x1150	150	150	150	Velocidad de viento km/h

Tabla 1 - Velocidades máximas de viento admisibles.

- Para garantizar la resistencia a la velocidad máxima de diseño se deberán utilizar anclajes adecuados.

Reservado el derecho a efectuar modificaciones · Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

Para cumplir con las velocidades máximas admisibles de viento especificadas en la tabla 1, se deberán respetar todas las instrucciones indicadas en los planos de montaje. Se debe comprobar que los puntos de anclaje para los módulos son compatibles con las especificaciones del fabricante.