

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



"PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR PARA
LA LAVANDERÍA DEL HOSPITAL DE
NEMBA (RUANDA): ESTUDIO TÉCNICO,
ECONÓMICO Y SOCIAL"

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diciembre -2025

AUTOR: Sara María Martínez Aroca

DIRECTOR: Pedro Juan Martínez Beltran.



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.	Objetivos y competencias adquiridas.....	7
2.	CONTEXTO DEL PROYECTO	8
2.1.	Marco de colaboración UMH- Hospital de Nemba.....	8
2.2.	Descripción del Hospital de Nemba y necesidades energéticas.....	9
2.3.	Situación actual de la lavandería.....	10
3.	ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	12
3.1.	Contexto socioeconómico y cultural.....	12
3.2.	Situación energética del país.....	13
3.3.	Programas gubernamentales y normativas en Ruanda.....	15
4.	DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	16
4.1.	Introducción a la energía solar.....	16
4.2.	Conceptos, magnitudes y componentes básicos.....	18
4.3.	Sistema fotovoltaico.....	22
4.3.1.	Captación de la radiación solar.....	23
4.3.2.	Conversión de corriente continua a alterna.....	25
4.3.3.	Integración con la red eléctrica del edificio.....	25
4.3.4.	Sistema de protecciones y seguridad.....	26
4.3.5.	Monitorización y mantenimiento.....	26
4.3.6.	Beneficios principales del sistema.....	26
4.4.	Requisitos energéticos de la instalación.....	27
4.5.	Dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico.....	28
4.6.	Solicitud de presupuestos y criterios de selección.....	29
4.7.	Análisis comparativo de proveedores.....	37
4.8.	Elección final del proveedor.....	38
5.	EJECUCIÓN REAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	39
6.	EVALUACIÓN Y RESULTADOS.....	49
6.1.	Viabilidad técnica y económica.....	49

6.2.	Beneficios ambientales y sociales esperados.	50
6.3.	Comparativa con la realidad española.	50
6.4.	Análisis de resultados a partir de la visita técnica.	52
6.4.1.	Demanda energética observada durante la visita técnica.	52
6.4.2.	Mediciones energéticas in situ durante la visita técnica.	54
6.4.3.	Simulación energética avanzada mediante TRNSYS.	56
7.	MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.	60
8.	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS FUTURAS.	63
8.1.	Conclusiones generales del proyecto.	63
8.2.	Posibles mejoras y ampliaciones.	64
8.3.	Impacto en la comunidad y sostenibilidad a largo plazo.	66
9.	BIBLIOGRAFÍA.	67



INDICE DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1. MONITORIZACIÓN CONSUMOS DIARIOS AGOSTO 2024.....	10
ILUSTRACIÓN 2. CONSUMO DIARIO LAVANDERÍA.....	11
ILUSTRACIÓN 3. MIX ENERGÉTICO EN RUANDA EN 2022.....	13
ILUSTRACIÓN 4. EVOLUCIÓN DEL ACCESO A LA ELECTRICIDAD EN RUANDA.....	14
ILUSTRACIÓN 5. ENERGÍA INCIDENTE.....	16
ILUSTRACIÓN 6. RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE LA TIERRA.....	17
ILUSTRACIÓN 7. EFECTO DE LA MASA DE AIRE.....	17
ILUSTRACIÓN 8. ESPECTRO DE RADIACIÓN.....	18
ILUSTRACIÓN 9. LATITUD Y LONGITUD.....	19
ILUSTRACIÓN 10. ALTITUD Y ACIMUT.....	19
ILUSTRACIÓN 11. PVGIS.....	20
ILUSTRACIÓN 12. PVGIS EN NEMBA.....	21
ILUSTRACIÓN 13. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	22
ILUSTRACIÓN 14. COMPONENTES DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	23
ILUSTRACIÓN 15. CAPAS N Y P DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	24
ILUSTRACIÓN 16. TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	24
ILUSTRACIÓN 17. SÍMBOLO INVERSOR FOTOVOLTAICO.....	25
ILUSTRACIÓN 18. INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO.....	25
ILUSTRACIÓN 19. PARÁMETROS LAVANDERÍA.....	27
ILUSTRACIÓN 20. CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN SOLICITADA.....	30
ILUSTRACIÓN 21. PRESUPUESTO B4 TRADE.....	31
ILUSTRACIÓN 22. PRESUPUESTO SUNLIGHT HARDWARE.....	32
ILUSTRACIÓN 23. PRESUPUESTO COMPANY G.G.C. LTD.....	33
ILUSTRACIÓN 24. PROYECTO DE REFERENCIA PRESENTADO.....	34
ILUSTRACIÓN 25. IMÁGENES DE REFERENCIA.....	35
ILUSTRACIÓN 26. ESQUEMA TÉCNICO INSTALACIÓN.....	35
ILUSTRACIÓN 27. ESQUEMA UNIFILAR INSTALACIÓN.....	36
ILUSTRACIÓN 28. TABLA COMPARATIVA ECONÓMICA PROVEEDORES.....	37
ILUSTRACIÓN 29. PANEL SOLAR GOSOLAR.....	39
ILUSTRACIÓN 30. PLACA DE DATOS DEL FABRICANTE.....	39
ILUSTRACIÓN 31. CARACTERÍSTICAS PANEL SOLAR GOSOLAR.....	40
ILUSTRACIÓN 32. HOJA DE DATOS PANEL SOLAR GOSOLAR.....	41
ILUSTRACIÓN 33. INVERSOR INSTALADO.....	42
ILUSTRACIÓN 34. HOJA DE DATOS INVERSOR INSTALADO.....	43
ILUSTRACIÓN 35. EDIFICIO LAVANDERÍA HOSPITAL DE NEMBA.....	45
ILUSTRACIÓN 36. PROCESO DE MONTAJE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN LA CUBIERTA DEL EDIFICIO DE LAVANDERÍA.....	45
ILUSTRACIÓN 37. CONEXIÓN DE PANELES SOLARES.....	46
ILUSTRACIÓN 38. INSTALACIÓN DEL INVERSOR.....	46
ILUSTRACIÓN 39. PRUEBAS CORRECTO FUNCIONAMIENTO.....	47
ILUSTRACIÓN 40. SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO Y EN FUNCIONAMIENTO EN EL HOSPITAL DE NEMBA.....	48
ILUSTRACIÓN 41. TIPOS AUTOCONSUMO EN ESPAÑA SEGÚN IDAE.....	51
ILUSTRACIÓN 42 ESQUEMA DISTRIBUCIÓN ENERGÍA EN LOS TRES CONTADORES DEL HOSPITAL.....	53

ILUSTRACIÓN 43. PERFILES HORARIOS DE CONSUMO EN CUADRO TRIFÁSICO DE LAVANDERÍA.	53
ILUSTRACIÓN 44. PERFIL DE POTENCIA ELÉCTRICA REGISTRADO EN EL EDIFICIO DE LAVANDERÍA DURANTE LA JORNADA DE MEDICIÓN DEL 17/01/2026.....	55
ILUSTRACIÓN 45. PERFIL DE POTENCIA ELÉCTRICA REGISTRADO EN EL EDIFICIO DE LAVANDERÍA DURANTE LA JORNADA DE MEDICIÓN DEL 19/01/2026.....	55
ILUSTRACIÓN 46. PRODUCCIÓN MENSUAL ESTIMADA CON TRNSYS.....	57
ILUSTRACIÓN 47. CURVAS DE GENERACIÓN Y DEMANDA EN EL CUADRO DE LA LAVANDERÍA.	58
ILUSTRACIÓN 48. CURVAS DE GENERACIÓN Y DEMANDA EN EL CUADRO GENERAL.....	58
ILUSTRACIÓN 49. LIMPIEZA PANELES SOLARES.	60
ILUSTRACIÓN 50. REVISIÓN CONEXIONES ELÉCTRICAS.	61
ILUSTRACIÓN 51. REVISIÓN ESTRUCTURA.	61
ILUSTRACIÓN 52. MONITORIZACIÓN	62



1. INTRODUCCIÓN.

Este Trabajo fin de Máster describe el proyecto de diseño contratación y selección de proveedor para la instalación de un sistema fotovoltaico destinado a abastecer la lavandería del Hospital de Nemba, en Ruanda.

El proyecto se desarrolla en el marco de colaboración entre la Universidad Miguel Hernández (UMH) y las instituciones locales, y persigue fomentar el uso de energías renovables como herramienta de desarrollo sostenible.

En el trabajo se recogen las fases de solicitud y comparación de presupuestos de diferentes proveedores, los criterios técnicos y económicos que fundamentan la elección final.

Además, se realizará un análisis del contexto socioeconómico y cultural de Ruanda, la situación energética actual del país y las políticas gubernamentales orientadas a la promoción de las energías limpias.

1.1. Objetivos y competencias adquiridas.

El desarrollo del presente Trabajo fin de Máster ha permitido aplicar y consolidar el conjunto de competencias específicas y generales definidas en la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

Competencias generales:

- Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial, especialmente de instalaciones energéticas y eléctricas. Aplicada en el diseño y documentación del sistema fotovoltaico para la lavandería del Hospital de Nemba.
- Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, aplicada al dimensionamiento energético y cálculo de producción fotovoltaica.
- Capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad y razonamiento crítico, aplicada en la selección técnica y económica de la alternativa óptima de instalación solar.

Competencias específicas:

- Conocimientos básicos y aplicación de tecnologías medioambientales y sostenibilidad, reflejados en la evaluación del impacto ambiental y la reducción de emisiones de CO₂.
- Conocimiento aplicado sobre energías renovables, aplicada en el diseño de conexión del sistema solar con la red interna del hospital.

2. CONTEXTO DEL PROYECTO

2.1. Marco de colaboración UMH- Hospital de Nemba.

La universidad Miguel Hernández (UMH), a través de sus servicios de Relaciones Internacionales y Cooperación, desarrolla desde 2011 una experiencia de voluntariado en Nemba, que combina formación, cooperación al desarrollo y compromiso social.

Este programa que se realiza cada año (excepto pandemia), permite que Personal Docente e Investigador, Personal Técnico y de Gestión y de Administración y Servicios, estudiantado y alumni, realicen actividades formativas y de voluntariado durante los meses de julio y agosto.

En el marco de esta colaboración, el centro hospitalario de referencia local, el Hospital de Nemba, se ha convertido en un socio clave para la UMH. Mediante dicho vínculo, la UMH ha canalizado acciones tales como:

- Diagnósticos de infraestructura, especialmente en servicios críticos como la lavandería.
- Identificación de necesidades energéticas específicas y de sostenibilidad.
- Apoyo técnico y formativo para el Hospital, orientado a potenciar su resiliencia energética.
- Posibilidad de replicar soluciones de energía renovable en un contexto real de cooperación internacional.

Este marco de colaboración implica un enfoque sostenible y participativo, donde la UMH aporta no solo recursos académicos y técnicos, sino también una visión de desarrollo humano que responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. La colaboración con el Hospital de Nemba facilita

la transferencia de conocimientos, la capacitación del personal local y la integración de tecnologías adaptadas a las condiciones del entorno ruandés.

2.2. Descripción del Hospital de Nemba y necesidades energéticas.

El Hospital de Nemba es un centro de referencia regional ubicado en la provincia Norte de Ruanda. Atiende a una población aproximada de 250.000 habitantes y cuenta con áreas esenciales como hospitalización, urgencias, maternidad, pediatría, laboratorio, cirugía, farmacia y lavandería. Inaugurado en 1974, fue construido inicialmente por la Misión Diocesana de Navarra y la ONGD Medicus Mundi para mejorar la atención primaria. El hospital fue saqueado y sufrió daños graves durante el genocidio de 1994, pero desde entonces ha sido rehabilitado y modernizado con la ayuda de varias organizaciones, incluyendo la Universidad Miguel Hernández (UMH).

El suministro eléctrico depende casi por completo de la red nacional gestionada por REG (Rwanda Energy Group), caracterizada por fluctuaciones de tensión, micro cortes y sobrecarga de transformadores compartidos. Estas condiciones afectan directamente al funcionamiento de equipos médicos y servicios críticos del hospital.

Entre las necesidades energéticas más relevantes destacan:

- Funcionamiento continuo de equipos clínicos.
- Iluminación y climatización de unidades asistenciales.
- Refrigeración de medicamentos y vacunas.
- Operación de la lavandería, uno de los servicios con mayor demanda energética.

2.3. Situación actual de la lavandería.

La lavandería desempeña un papel fundamental en la prevención de infecciones intrahospitalarias y en el mantenimiento higiénico del material textil utilizado por pacientes y personal. Está equipada con lavadoras, secadoras, planchas industriales y equipos auxiliares.

Los datos de monitorización realizados en agosto de 2024 muestran un consumo medio diario de 193 kWh/día y picos de potencia de hasta 50 kW.

Date Logged	Phase 1 [KWh]	Phase 2 [KWh]	Phase 3 [KWh]	Hospital daily energy usage	Data Logging status
7/31/2024	-1.3	25.1	20.5	44.3	Half Day
8/1/2024	-34.5	141.7	96.7	203.9	Half Day
8/2/2024	-43.7	119.2	102.9	178.5	Full Day
8/3/2024	-32.7	114.2	97.6	179.0	Full Day
8/4/2024	-22.6	114.2	86.0	177.6	Full Day
8/5/2024	-38.8	129.9	76.3	167.4	Full Day
8/6/2024	-27.8	153.2	82.5	207.8	Full Day
8/7/2024	-31.2	153.0	102.3	224.1	Full Day
8/8/2024	-26.6	150.6	93.4	217.4	Full Day
8/9/2024	-9.0	96.6	54.7	142.3	half day

Ilustración 1. Monitorización consumos diarios agosto 2024.

La mayor actividad se produce entre las 8:00 y 17:00 h, coincidiendo con el horario de funcionamiento del resto del hospital.

Consumption has an average base load of around 50 KW during sun hours.

Time	Average Loads[KVA]	Average Loads [KW]	Maximum loads[KVA]	Maximum Loads [KW]
00:00-01:00	14	13	20	18
01:00-02:00	13	12	21	19
02:00-03:00	13	13	20	19
03:00-04:00	13	12	19	18
04:00-05:00	12	11	19	17
05:00-06:00	14	13	22	21
06:00-07:00	14	13	20	20
07:00-08:00	14	13	28	22
08:00-09:00	15	14	40	34
09:00-10:00	18	18	55	46
10:00-11:00	18	16	62	49
11:00-12:00	20	18	45	39
12:00-13:00	20	17	51	38
13:00-14:00	20	17	55	48
14:00-15:00	19	16	53	39
15:00-16:00	18	15	45	43
16:00-17:00	16	15	53	49
17:00-18:00	16	14	46	34
18:00-19:00	16	14	23	20
19:00-20:00	16	15	23	21
20:00-21:00	16	15	23	22
21:00-22:00	15	15	21	20
22:00-23:00	15	15	22	20

Ilustración 2. Consumo diario lavandería.

Los principales problemas detectados son:

- Elevado consumo energético.
- Fluctuaciones de tensión que afectan al rendimiento de los equipos.
- Ausencia de sistemas de respaldo energético.
- Riesgo de interrupciones en el servicio durante cortes eléctricos.

Estas condiciones hacen que la lavandería sea prioritaria para la instalación de un sistema fotovoltaico que garantice autonomía energética, reduzca costes y mejore la continuidad operativa del hospital.

3. ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.1. Contexto socioeconómico y cultural.

Ruanda es un país de renta baja situado en África Oriental, cuya economía se apoya mayoritariamente en la agricultura de subsistencia, de la que depende alrededor del 90 % de la población. Junto a este sector primario, existen también actividades de procesamiento de productos agrícolas y una producción minera en expansión. En las últimas décadas, el turismo se ha consolidado como una de las principales fuentes de ingreso para el país, mientras que la minería, especialmente la extracción de casiterita, de la que se obtiene estaño, además de pequeñas cantidades de otros minerales como el berilio, ha llegado a superar al café y al té como principales productos de exportación.

El genocidio de 1994 supuso la destrucción de una economía ya de por sí frágil, agravó los niveles de pobreza (especialmente entre las mujeres) y dificultó la llegada de inversión exterior. A pesar de ello, en los años posteriores el país ha logrado estabilizar y reconstruir su estructura económica, alcanzando ritmos de crecimiento muy elevados. A partir de 2006 Ruanda entró en una fase de crecimiento económico sostenido, con tasas cercanas al 8 % anual, lo que le ha situado entre las economías de más rápido desarrollo del continente africano. Este crecimiento ha venido acompañado de una reducción significativa de la pobreza, que habría pasado de valores cercanos al 70 % en 1994 a alrededor del 45 % en 2011, y a aproximadamente el 27 % en el periodo 2017–2024, según las últimas estadísticas nacionales.

Este contexto socioeconómico tiene un impacto directo en el funcionamiento de los servicios públicos esenciales, y muy especialmente en los centros de salud y hospitales rurales. En zonas como Nemba, las limitaciones presupuestarias, la dependencia de ayudas externas y la falta de infraestructuras plenamente desarrolladas condicionan la capacidad del hospital para garantizar un suministro energético estable y asequible. En este escenario, la implantación de soluciones de energía solar en servicios críticos como la lavandería no solo contribuye a mejorar la eficiencia y la calidad asistencial, sino que se alinea con las necesidades reales de la población y con las estrategias de desarrollo sostenible del país.

3.2. Situación energética del país.

El sistema energético ruandés sigue dominado por el uso de biomasa tradicional (leña, carbón vegetal), que representa en torno al 90 % del suministro energético total del país. El resto se compone principalmente de productos petrolíferos importados y, en menor medida, de electricidad generada a partir de hidráulica, gas metano de lago Kivu, energía solar y otras fuentes renovables modernas.

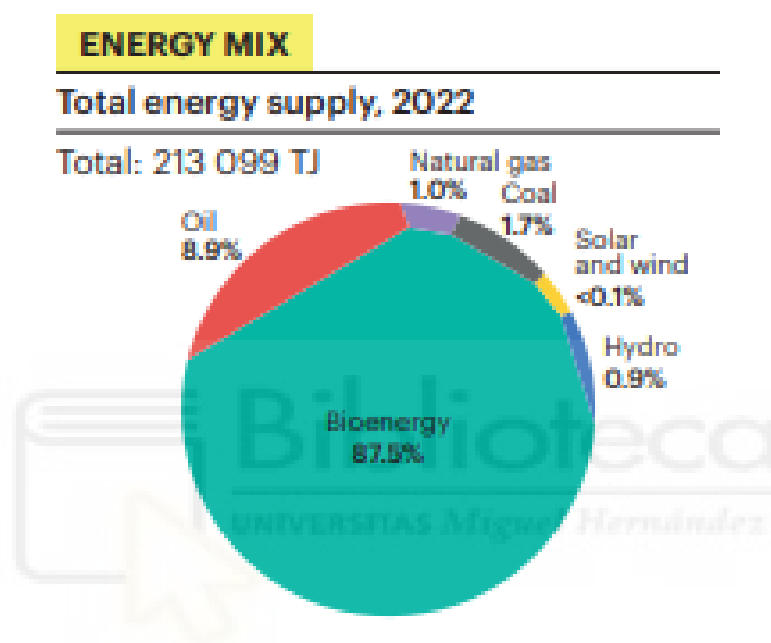


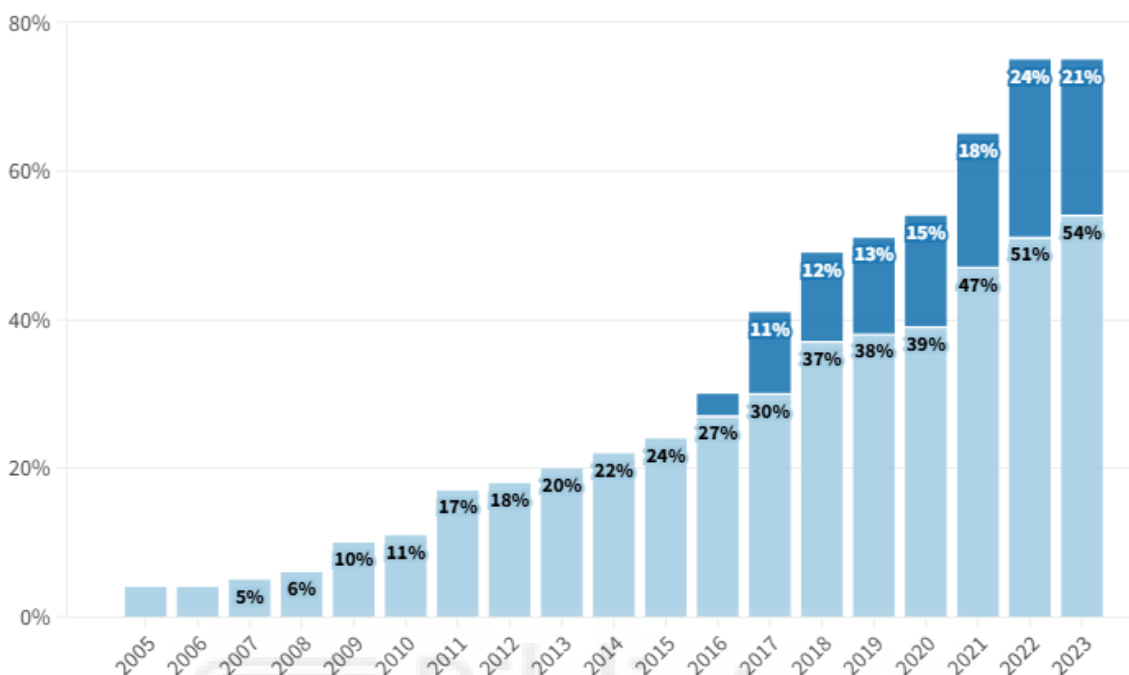
Ilustración 3. Mix energético en Ruanda en 2022

En el ámbito eléctrico, Ruanda ha logrado avances muy significativos en los últimos años. El porcentaje de hogares con acceso a electricidad ha pasado de alrededor del 6 % en 2009 a aproximadamente el 75 % de los hogares en 2024, combinando conexiones a la red (“on-grid”) y soluciones fuera de red (“off-grid”) como kits solares domiciliarios y mini-redes.

Electricity Access Expansion in Rwanda during 2005–2024

■ Grid access ■ Off-grid access

Electricity Access (%)



Source: Rwanda Energy Group and Ministry of Infrastructure (as of March 2024)

Ilustración 4. Evolución del acceso a la electricidad en Ruanda.

El Gobierno ha establecido como objetivo el acceso universal a la electricidad, mediante una estrategia que combina la extensión de la red eléctrica y el despliegue de soluciones descentralizadas, especialmente en zonas rurales.

En este contexto, la promoción de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red o híbridos se ha convertido en una prioridad para el país, tanto para reforzar la resiliencia de servicios esenciales (salud, educación, abastecimiento de agua) como para reducir la factura energética y las emisiones asociadas. El proyecto de energía solar para la lavandería del Hospital de Nemba se alinea directamente con esta estrategia nacional.

Modelo de facturación eléctrica: prepagado mediante tokens.

A diferencia de España, en Ruanda es habitual que la electricidad se adquiera antes de su consumo mediante un sistema de prepagado. En el Hospital de Nemba

existen contadores de energía asociados a distintas zonas (por ejemplo, cuadro general, lavandería y maternidad) que van descontando del saldo disponible la energía consumida. Cuando el saldo restante se aproxima a un umbral mínimo, el responsable de mantenimiento realiza la compra de un nuevo paquete de energía o token, con el fin de evitar interrupciones del suministro por agotamiento del crédito. Este modelo condiciona la gestión energética del hospital, ya que la continuidad del servicio depende tanto de la disponibilidad de red como de la planificación de recargas por parte del personal de mantenimiento.

3.3. Programas gubernamentales y normativas en Ruanda.

El marco de política energética de Ruanda está definido por la Energy Policy y por el Energy Sector Strategic Plan (ESSP), documentos elaborados por el Ministerio de Infraestructuras (MININFRA), que establecen como objetivo general el acceso universal a servicios energéticos modernos, limpios y asequibles, promoviendo de forma explícita el despliegue de energías renovables (hidráulica, solar, eólica, biomasa moderna, etc.).

En el ámbito eléctrico, la planificación y ejecución de la electrificación corresponden a Rwanda Energy Group (REG) y sus filiales, mientras que la Rwanda Utilities Regulatory Authority (RURA) se encarga de regular tarifas, licencias y calidad del servicio. El Rwanda Electricity Access Development Plan y el National Electrification Plan (NEP) definen las prioridades de extensión de red y de soluciones off-grid, con énfasis en alcanzar el 100 % de acceso e incluir a usuarios productivos, entre los que se encuentran los centros de salud y hospitales.

En relación con las energías renovables y la energía solar, en los últimos años se han creado programas y marcos regulatorios para facilitar la implantación de proyectos renovables (hidráulicos, solares, mini-redes, sistemas off-grid), incluyendo incentivos y mecanismos de apoyo a la electrificación rural mediante soluciones solares.

4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.

4.1. Introducción a la energía solar.

Dentro de la energía total de la Tierra, el Sol contribuye aproximadamente al 94%. Se convierte en el aporte energético más importante para sostener el ecosistema terrestre y permitir la vida.

Para convertir la radiación solar en energía útil actualmente existen dos tipos de tecnologías.

- **Tecnología Fotovoltaica:** Convierte la energía solar en energía eléctrica a partir del principio fotoeléctrico.
- **Tecnología Solar térmica:** Aprovecha la energía solar para calentar un fluido, convirtiendo la radiación en energía térmica.

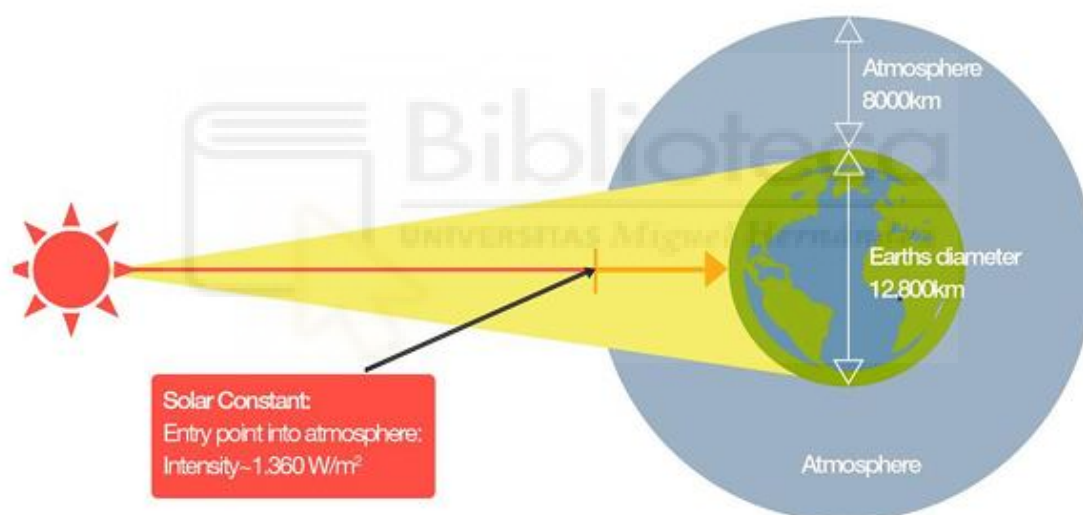


Ilustración 5. Energía Incidente

En la imagen anterior vemos como la energía irradiada por el Sol se expande esféricamente. La Tierra sólo recibe una mínima parte de esta energía irradiada. La constante solar de 1360 W/m^2 , es la cantidad de radiación que incide por unidad de superficie sobre la atmósfera terrestre.

Sin embargo, la radiación solar que llega a la superficie terrestre es inferior a la que incide sobre la atmósfera (constante solar) porque, al atravesar la atmósfera, parte de esa energía se pierde o se desvía por distintos fenómenos físicos.

En primer lugar, una fracción importante de la radiación sufre dispersión (*scattering*) al interactuar con partículas en suspensión, nubes, polvo y vapor de agua, de modo que sólo una parte del haz directo llega al suelo.

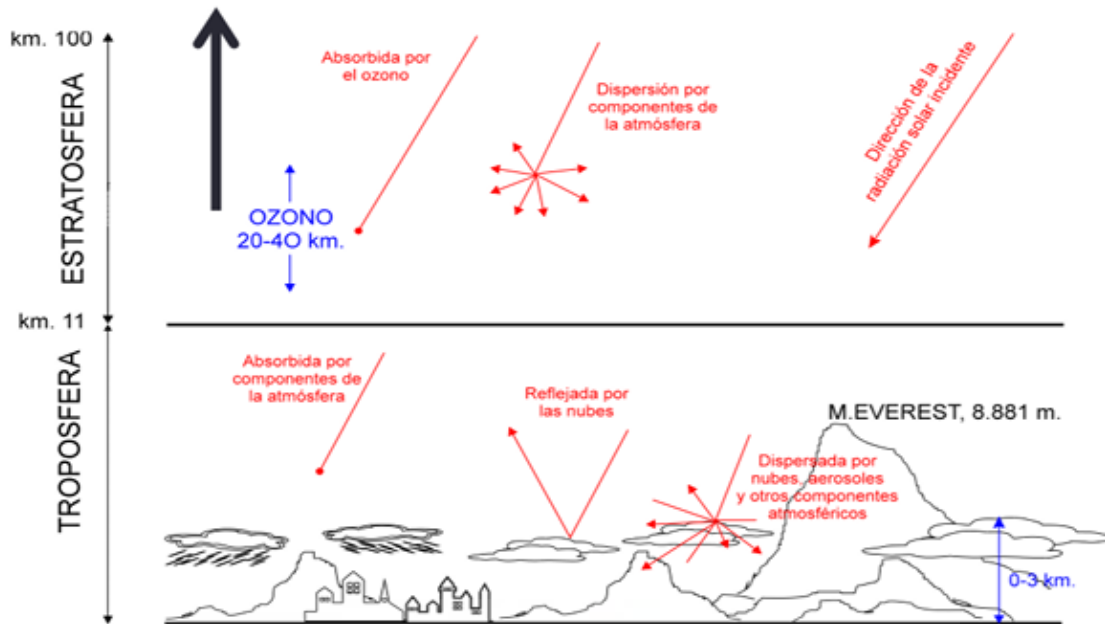


Ilustración 6. Radiación incidente sobre la Tierra.

Además, el ángulo de incidencia influye de forma decisiva: cuando los rayos solares son menos perpendiculares a la superficie, aumenta la reflexión y se reduce la energía absorbida. A esto se suma el efecto de la masa de aire (*air mass*), ya que una radiación más tangencial debe recorrer un mayor espesor atmosférico, incrementando las pérdidas por absorción y dispersión.

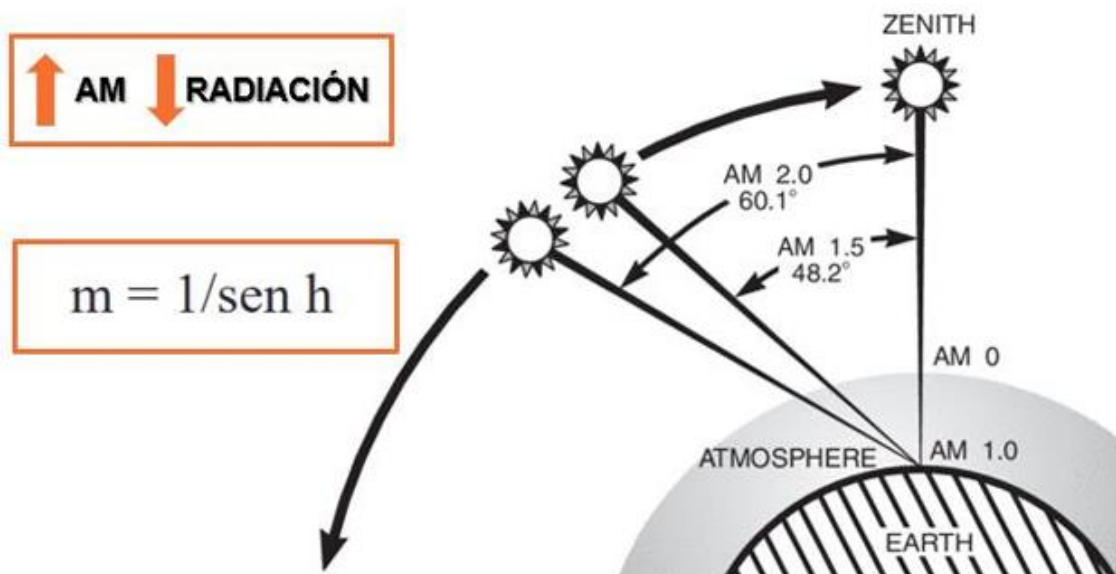


Ilustración 7. Efecto de la masa de aire.

Por último, la atmósfera actúa como un filtro espectral: determinadas longitudes de onda, especialmente en la zona ultravioleta, son retenidas o fuertemente atenuadas, de manera que la radiación que finalmente alcanza la superficie es solo una parte de la que inicialmente incide sobre la atmósfera.

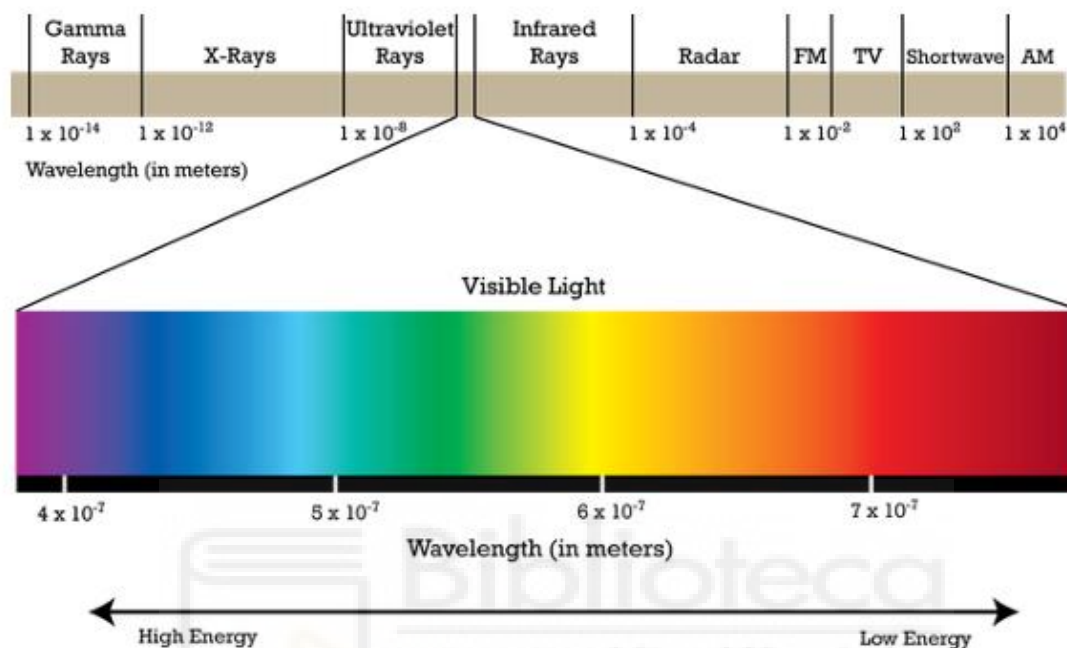


Ilustración 8. Espectro de radiación.

4.2. Conceptos, magnitudes y componentes básicos.

Posición geográfica y del Sol:

- Latitud: Es la posición norte–sur respecto al ecuador (0° a 90°).
- Longitud: Es la posición este–oeste respecto al meridiano de Greenwich (0° a 180°).
- Ángulo acimut: Es el ángulo entre el norte y la dirección del Sol, medido en el plano horizontal.
- Ángulo de altitud: Es la altura angular del Sol sobre el horizonte.
- Herramientas: Entre ellas encontramos, para conocer la posición exacta del Sol a una determinada hora del día tenemos la carta solar cilíndrica y para conocer la posición solar con respecto a nuestra localización tenemos la carta solar estereográfica.

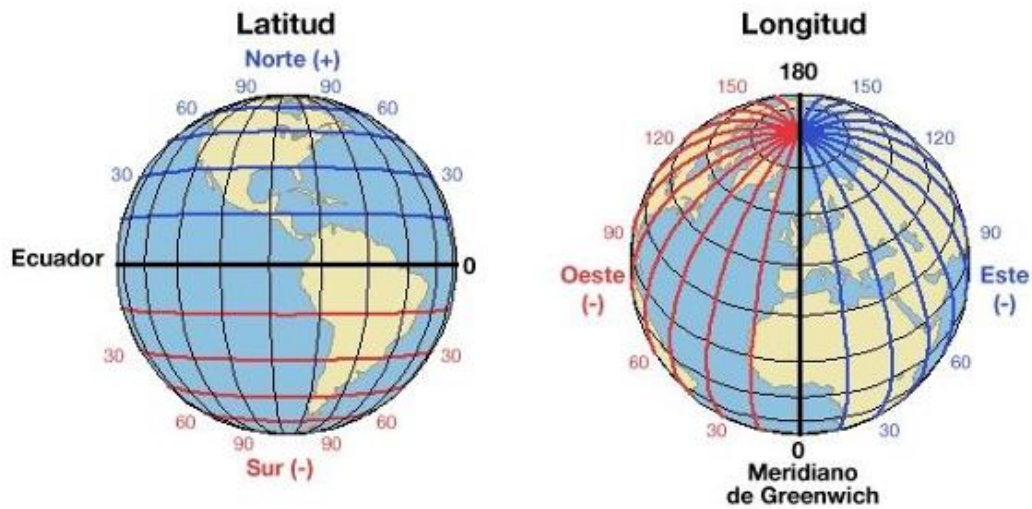


Ilustración 9. Latitud y longitud.

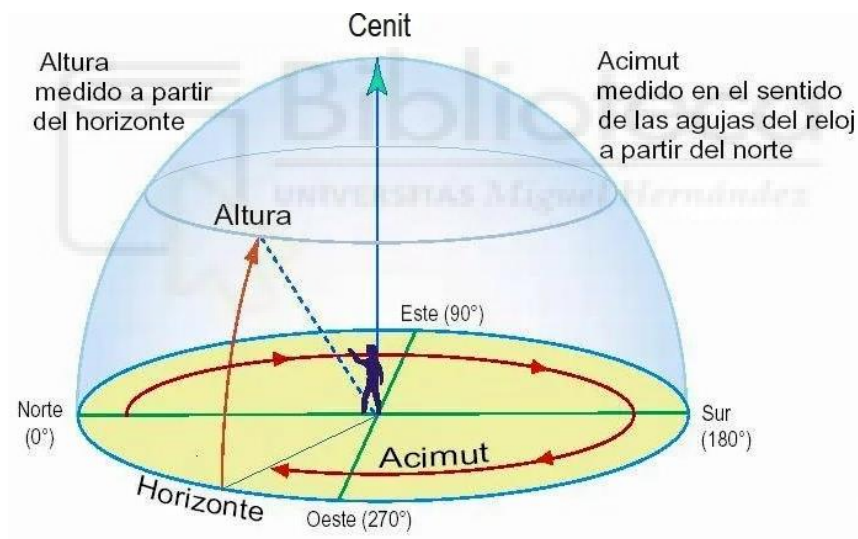


Ilustración 10. Altitud y Acimut.

Magnitudes básicas:

- Irradiancia (kW/m^2): Potencia por unidad de superficie. “Caudal” de energía instantáneo.
- Irradiación (Radiación) (kWh/m^2): Energía por unidad de superficie en un intervalo de tiempo. “Volumen” de energía acumulada.

Componentes de la radiación solar:

- Radiación directa: Es la que llega en línea recta desde el Sol (muy dependiente de nubosidad y estación).
- Radiación difusa: Es aquella radiación dispersada por partículas, nubes y vapor de agua.
- Albedo o reflejada: Es la radiación reflejada por el suelo, edificios, montañas, etc.

Movimiento de la Tierra y declinación solar

- La órbita es elíptica, pero las estaciones no dependen principalmente de la distancia Sol-Tierra.
- La clave es la inclinación del eje terrestre → cambia el ángulo de incidencia a lo largo del año.
- Se introduce el ángulo de declinación solar, que explica la variación de radiación y las estaciones.

Por eso, la radiación incidente en una ubicación depende principalmente de la estación del año y de su latitud, no de que la Tierra esté un poco más cerca o más lejos del Sol.

Para saber el valor de la irradiancia del emplazamiento en el que se va a instalar el sistema, una de las bases de datos más utilizadas a nivel global es PVGIS.

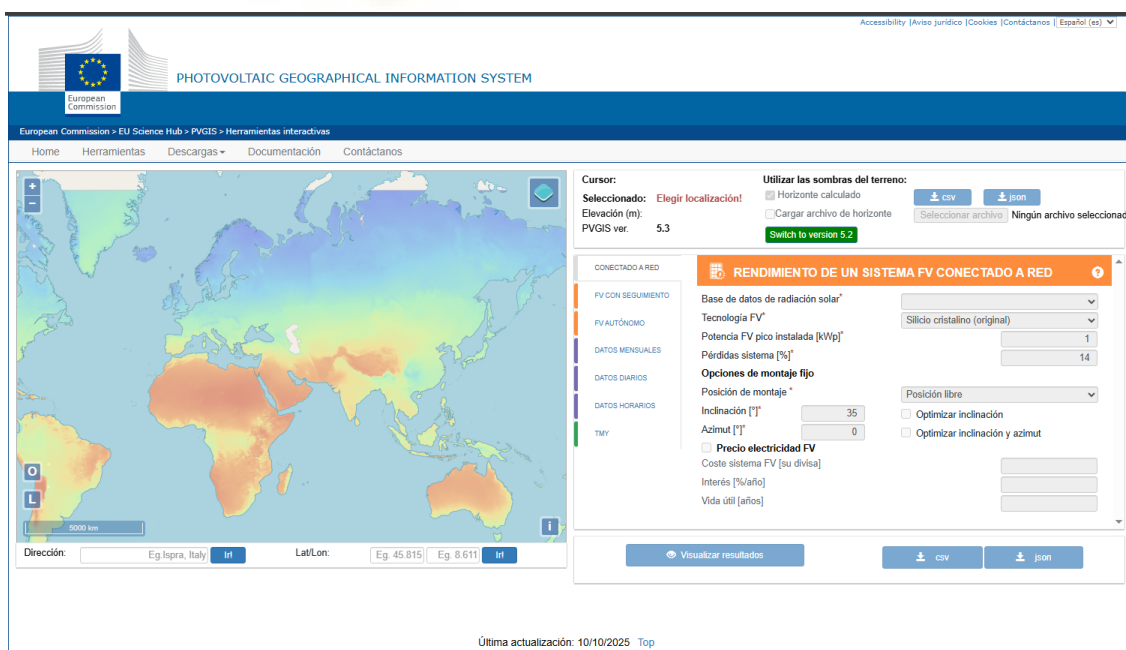


Ilustración 11. PVGIS.

Para Nemba obtenemos el siguiente resultado:



PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

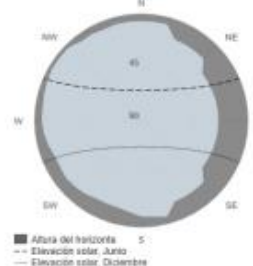
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: -1.572,29.866
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH3
 Tecnología FV: Cryst Sil Original
 FV instalado: 1 kWp
 Pérdidas sistema: 14 %

Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 35 °
 Ángulo de azimut: 0 °
 Producción anual FV: 1155.83 kWh
 Irradiación anual: 1492.72 kWh/m²
 Variación interanual: 25.04 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -3.96 %
 Efectos espectrales: 0.82 %
 Temperatura y baja irradiancia: -7.01 %
 Pérdidas totales: -22.57 %

Perfil del horizonte en la localización seleccionada



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	119.5	154.3	14.2
Febrero	102.2	132.5	7.7
Marzo	101.5	130.6	6.2
Abril	85.7	110.2	5.5
Mayo	78.4	101.5	3.9
Junio	73.9	97.0	3.9
Julio	83.2	109.2	3.0
Agosto	91.2	117.8	6.5
Septiembre	95.0	122.0	6.8
Octubre	104.6	134.9	8.4
Noviembre	102.9	132.0	7.0
Diciembre	117.7	150.6	10.4

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].
 H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].
 SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

La Comisión Europea mantiene este sitio para facilitar el acceso público a la información sobre sus misiones y las políticas de la Unión Europea en general. Nuestra prioridad es maximizar la información accesible y el uso. Tratamos de proteger los datos que se nos envían. No obstante, la Comisión acepta toda responsabilidad en relación con la información recibida en este web. Aunque hacemos lo posible por asegurar al usuario los mejores servicios, algunos datos o informaciones suministradas en nuestra web pueden haberse actualizado o actualizado en cualquier momento sin avisar de dicho cambio, y no podemos garantizar que esta información se ajuste de alguna manera al servicio. La Comisión no asume ninguna responsabilidad por los problemas que puedan surgir al utilizar esta información o datos obtenidos con relación al mismo. Para obtener más información, por favor visite <http://ec.europa.eu/info/legislation>.



PVGIS ©Unión Europea, 2001-2025.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.
 Informe creado el 2025/11/26

Ilustración 12. PVGIS en Nemba.

4.3. Sistema fotovoltaico.

Un sistema fotovoltaico es una instalación capaz de transformar la energía solar en energía eléctrica utilizable mediante el efecto fotovoltaico. Su funcionamiento se basa en una serie de elementos que trabajan de forma coordinada para captar, convertir y suministrar energía de manera segura y estable.

Por un lado, las instalaciones de energía fotovoltaica pueden clasificarse según su escala en grandes plantas de generación conectadas a la red, destinadas principalmente a la producción eléctrica para su vertido, y en instalaciones de pequeña y mediana potencia orientadas al autoconsumo en viviendas, industrias o edificios de servicios. Por otro lado, se distinguen sistemas conectados a red sin almacenamiento, en los que la curva de consumo depende en gran medida del perfil de generación solar y la red eléctrica actúa como respaldo, y sistemas que incorporan baterías, que permiten desplazar parte de la energía generada a otras franjas horarias, aumentar la cobertura de la demanda en ausencia de radiación y mejorar la resiliencia frente a interrupciones del suministro. Esta doble clasificación ayuda a identificar la configuración más adecuada en función de las necesidades energéticas y del contexto de aplicación. La figura siguiente muestra el esquema de distribución de un campo fotovoltaico típico.

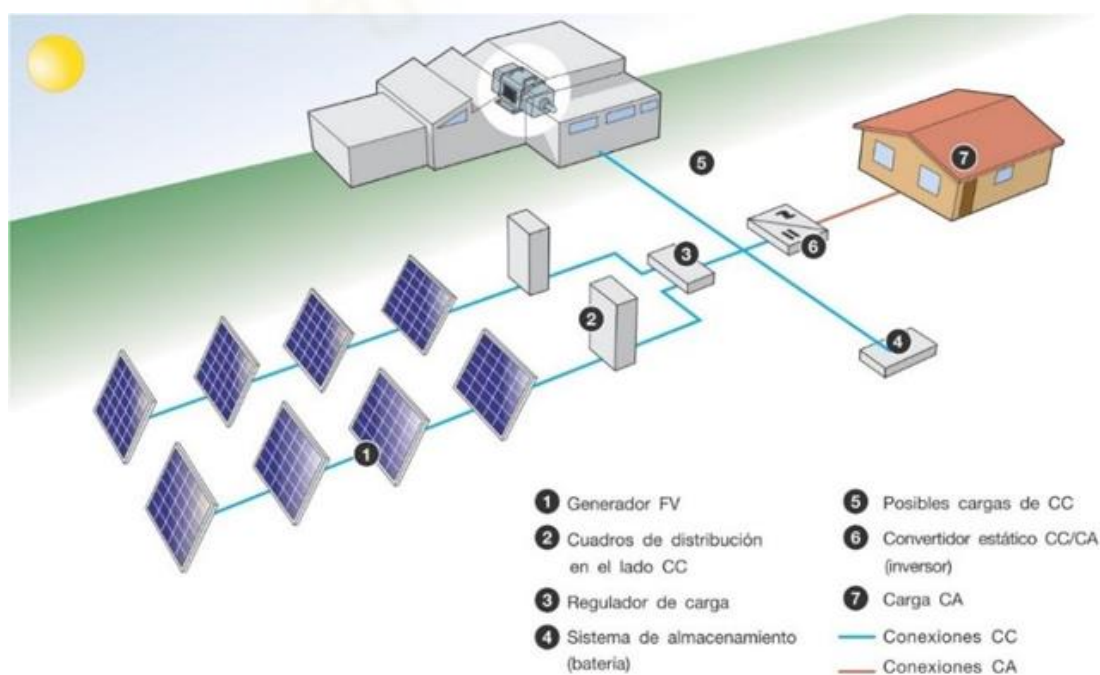


Ilustración 13. Instalación fotovoltaica.

4.3.1. Captación de la radiación solar.

El proceso comienza en los módulos fotovoltaicos, formados por células de silicio que generan una pequeña corriente eléctrica cuando reciben luz solar. La suma de todas estas células produce una corriente continua (CC) proporcional a la radiación incidente.

La cantidad de energía generada depende principalmente de la irradiancia, la orientación e inclinación de los paneles y la temperatura.

Cada módulo tiene una configuración como se muestra en la siguiente imagen:

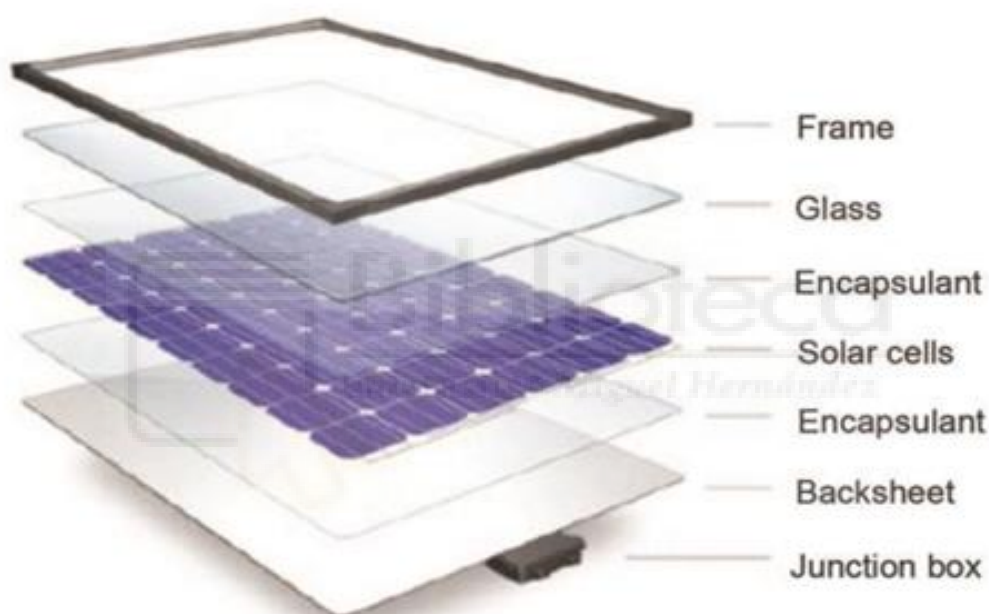


Ilustración 14. Componentes de un módulo fotovoltaico.

De estas capas la de mayor importancia es la compuesta por las células. Es donde se realiza el principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.

La célula fotovoltaica está formada por dos capas de, una capa P, cargada positivamente y otra capa N, cargada negativamente.

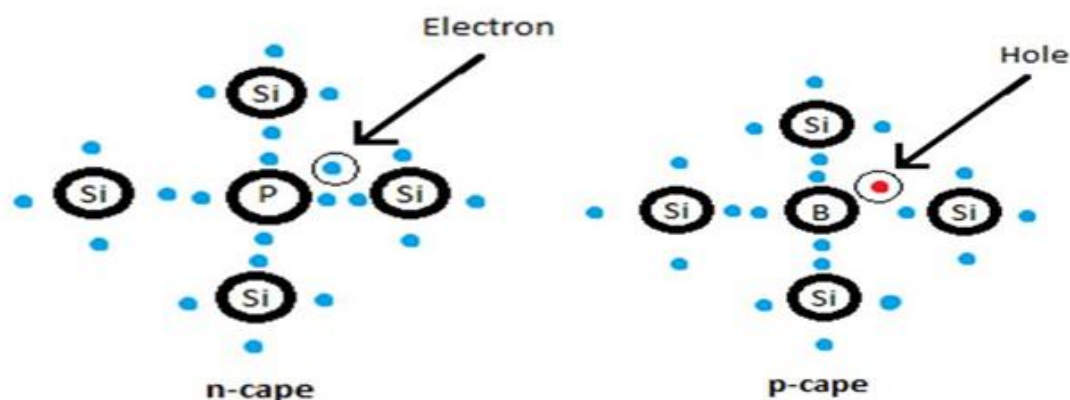
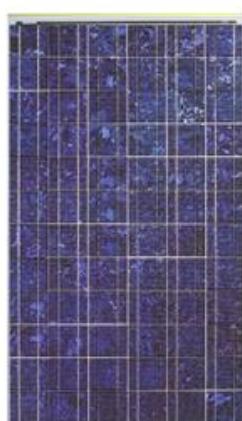


Ilustración 15. Capas N y P de una célula fotovoltaica.

Para que a través de la célula consigamos energía eléctrica de la radiación solar se creará una diferencia de potencial entre ambas capas, que favorece el intercambio de electrones de la capa n a la capa p.

Los fotones contenidos en la radiación solar incidente aportarán la energía necesaria para superar la banda de conducción y se cree una corriente de electrones entre ambas capas. Esta corriente de electrones da lugar a una corriente eléctrica en corriente continua, cuya tensión e intensidad dependerá de las características del panel y del número de paneles empleados.

Los tipos de módulos que existen principalmente son fotovoltaicos de silicio cristalino (monocristalinos y policristalinos), de película delgada (silicio amorfo, CdTe, CIGS) y las variantes más recientes como bifaciales, de alta eficiencia e integrados en edificio (BIPV)



Policristalino



Monocristalino



Película Delgada

Ilustración 16. Tipos de módulos fotovoltaicos.

4.3.2. Conversión de corriente continua a alterna.

La energía producida por los paneles no puede utilizarse directamente en la mayoría de instalaciones eléctricas, por lo que debe ser transformada. Para ello se emplea un inversor, cuya función principal es convertir la corriente continua en corriente alterna (CA) sincronizada con la red eléctrica del edificio.

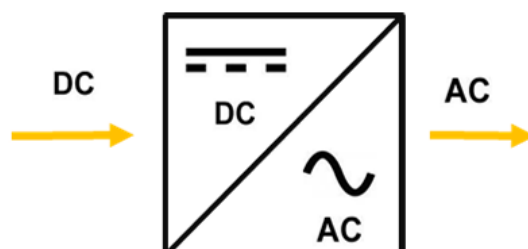


Ilustración 17. Símbolo inversor fotovoltaico.

Además, el inversor realiza tareas esenciales como:

- Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)
- Control de tensiones y protecciones.
- Monitorización del rendimiento.

4.3.3. Integración con la red eléctrica del edificio.

En sistemas conectados a red, como el del Hospital de Nemba, la energía generada se consume de manera instantánea por las cargas del edificio. Si en algún momento la producción solar es inferior a la demanda, la red eléctrica complementa el suministro sin interrupciones.

Este esquema permite reducir el consumo procedente de la red, disminuyendo los costes energéticos y mejorando la estabilidad del servicio.



Ilustración 18. Instalación de autoconsumo.

4.3.4. Sistema de protecciones y seguridad

Para garantizar un funcionamiento seguro, la instalación incorpora protecciones tanto en corriente continua como en alterna: fusibles, seccionadores, interruptores magnetotérmicos, protección contra sobretensiones, puesta a tierra y pararrayos cuando es necesario.

Estas protecciones evitan daños por fallos eléctricos, sobretensiones atmosféricas o desconexiones no controladas.

4.3.5. Monitorización y mantenimiento.

Los sistemas modernos incluyen herramientas de monitorización que permiten visualizar en tiempo real la energía producida, el estado del inversor y posibles incidencias.

El mantenimiento suele ser sencillo: limpieza periódica de paneles, revisión de cableado y comprobación de las protecciones.

4.3.6. Beneficios principales del sistema.

- Generación de energía limpia y renovable.
- Reducción del consumo eléctrico y de los costes asociados.
- Disminución de emisiones contaminantes.
- Mayor autonomía y resiliencia energética del edificio.

4.4. Requisitos energéticos de la instalación

Con el objetivo de dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico para la lavandería del Hospital de Nemba, se llevó a cabo un proceso de monitorización eléctrica durante el mes de agosto de 2024. La auditoría fue realizada por Clean Energy Technologies Ltd (CET) y se complementó con el análisis de datos registrados en el archivo “Nemba energy monitoring analysis 240809.xlsx”.

Los resultados muestran un consumo energético medio diario de la lavandería de aproximadamente 193 kWh/día, calculado a partir de los días con registros completos.

Durante dicho periodo se observaron picos de potencia activa cercanos a 50 kW y un factor de potencia medio de 0,89. La instalación cuenta con alimentación trifásica (3 × 230 V) y una tensión media de 226-240 V, si bien se registran fluctuaciones fuera del rango permitido atribuibles a caídas de tensión y posibles sobrecargas en el transformador compartido.

El perfil horario de consumo muestra que el máximo uso energético se concentra entre las 8:00 y 17:00 h, coincidiendo con el funcionamiento de lavadoras, secadoras y planchas industriales. Durante las horas nocturnas el consumo desciende hasta valores inferiores a 15 kW. Estos datos confirman que la lavandería constituye una de las áreas de mayor demanda energética del hospital. Principales parámetros medidos en la lavandería del Hospital de Nemba.

Parámetro	Valor Máximo	Valor Medio	Observaciones
Potencia Activa (kW)	50	11,5	Alta demanda diurna
Potencia Aparente (kVA)	52	13	Factor de potencia 0.89
Corriente trifásica	289A	93A	Cargas desequilibradas
Tensión trifásica.	226-240V	227V	Fluctuaciones y caídas de tensión
Energía diaria	-	193 kWh/día	Promedio periodo 02 al 08 de agosto del 2024

Ilustración 19. Parámetros lavandería.

El consumo específico anual estimado para la lavandería asciende a:

$$E_{\text{anual}} = 193 \text{ kWh/día} \times 365 \approx 70.445 \text{ kWh/año.}$$

Estos valores constituyen la base para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico de autoconsumo.

4.5. Dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico.

Se toman como datos de partida los siguientes parámetros:

- Consumo medio diario: 193 kWh/día
- Irradiancia media diaria en Nemba: 5 kWh/m²·día
- Rendimiento global del sistema (pérdidas por temperatura, suciedad, inversor y cableado): 0,80
- Horas solares pico: 5,2 h

La potencia fotovoltaica necesaria para cubrir el consumo medio diario se calcula mediante la expresión:

$$P_{\text{FV}} = E / (G \times \eta)$$

Donde:

- E es la demanda diaria (193 kWh/día),
- G la irradiancia media diaria (5 kWh/m²·día)
- η el rendimiento global del sistema (0,80).

Sustituyendo:

$$P_{\text{FV}} = 193 / (5 \times 0,80) \approx 48,25 \text{ kWp.}$$

Por tanto, se propone una instalación inicial en el entorno de 48 kWp.

Configuración preliminar:

- Módulos fotovoltaicos: 80 paneles monocristalinos de 600 Wp
- Inversor trifásico: 50 kW
- Estructura.
- Sistema de monitorización: inversor con comunicación Wi-Fi/GSM

- Protecciones: fusibles CC/CA, seccionadores, pararrayos y toma de tierra.

La producción anual estimada del sistema, considerando la potencia instalada de 48 kWp, la irradiancia media y el rendimiento global, puede aproximarse a:

$$E_{FV} \approx 48 \text{ kWp} \times 5 \text{ kWh/m}^2\text{-día} \times 0,80 \times 365 \approx 70.080 \text{ kWh/año.}$$

Este valor es muy próximo a la demanda anual estimada de la lavandería, lo que indica que el sistema podría cubrir prácticamente el 100 % de su consumo eléctrico en términos anuales.

4.6. Solicitud de presupuestos y criterios de selección.

Una vez definido el dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico (del orden de 48 kWp para cubrir prácticamente la totalidad del consumo de la lavandería), se procedió a la solicitud de propuestas económicas a tres empresas locales con experiencia en instalaciones solares en Ruanda: B4 Trade, Sunlight Hardware y GGC Ltd.

No obstante, el presupuesto real disponible para el proyecto, fijado en 11.000 €, condiciona de forma significativa la potencia que puede instalarse en esta primera fase. Por este motivo, aunque el dimensionamiento teórico sirvió como referencia, en la práctica se solicitó a las empresas que propusieran la mejor solución posible dentro de este límite económico, aun siendo consciente de que no se alcanzaría la potencia óptima calculada en el apartado anterior.

Para la solicitud de presupuestos se les indicó a los proveedores que la iniciativa era implementar un sistema solar conectado a la red para autoconsumo sin baterías, adaptado a las regulaciones de Ruanda y a la infraestructura del hospital. Que siguiera las características del siguiente esquema:

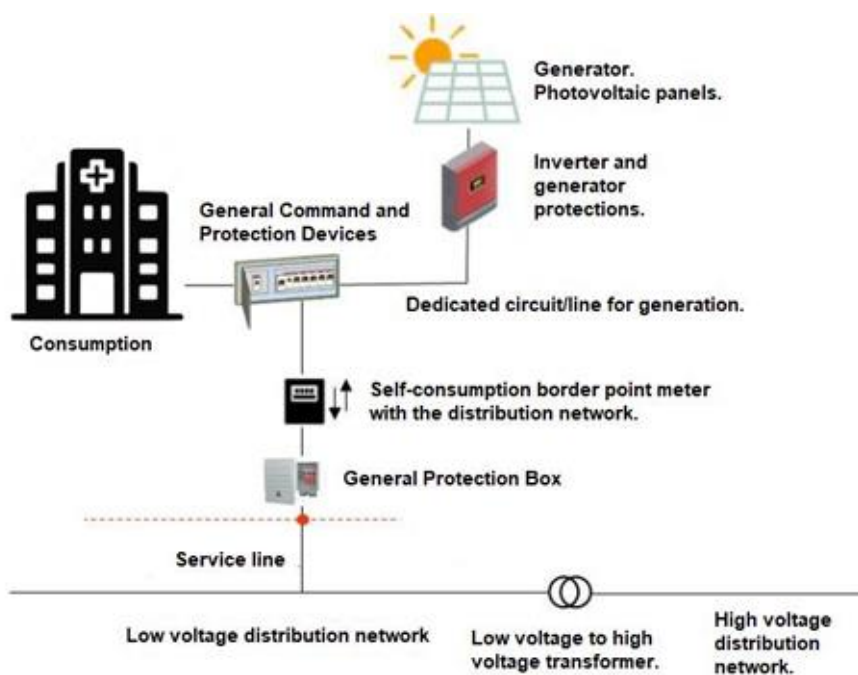


Ilustración 20. Características instalación solicitada.

Los criterios de selección empleados fueron:

- Adecuación de la propuesta al presupuesto disponible (≈ 11.000 €).
- Cumplimiento de requisitos técnicos mínimos (seguridad eléctrica, protecciones, calidad de equipos).
- Experiencia previa demostrable en proyectos similares.
- Documentación técnica aportada (esquemas, memoria, referencias).
- Disponibilidad de servicio técnico local y capacidad de mantenimiento.

Sobre esta base, se evaluaron las tres ofertas recibidas:

Nota: Conversión RWF→€ realizada con tipo de cambio fijo 1 EUR = 1.694,915254 RWF (importes en € orientativos).

- **B4 TRADE:**

- Presentó un presupuesto para un sistema de paneles solares con inversor únicamente, sin incluir baterías.
- No proporcionaron referencias detalladas ni experiencia previa relevante en el Hospital de Nemba.
- Presupuesto recibido: 20.475.000 francos ruandeses; 12.080,25€ (impuestos incluidos).

B4 TRADE					
	Unte	Q	P.U	P.TOTAL rwf	P.TOTAL €
Modules solaires de 600WC/24Volts	pc	12	550.000	6.600.000	3.894,00 €
Convertisseur sinus parfait 48Volts/9kVa	pc	1	6.500.000	6.500.000	3.835,00 €
Regulateur de 50 amperes/48Volts	pc	1	950.000	950.000	560,50 €
Le cable VOB de 2,5mm	rl	8	60.000	480.000	283,20 €
Le cable VOB de 1,5mm	rl	6	52.000	312.000	184,08 €
Tuyaux de 3/4 et accessoires	pc	50	1.000	50.000	29,50 €
Les supports des modules solaires	pc	1	700.000	700.000	413,00 €
Les supports de batteries et armoire	pc	1	410.000	410.000	241,90 €
Les ampoules led de 12watts	pc	20	30.000	600.000	354,00 €
Les boites de derivation	pc	8	3.500	28.000	16,52 €
Le cable de 4x16 mm souple	m	20	8.500	170.000	100,30 €
Le cable souple de 35mm	m	6	12.000	72.000	42,48 €
Interrupteurs et prises	pc	20	3.500	70.000	41,30 €
Les boites a fusibles	pc	1	122.000	122.000	71,98 €
Les fusibles a rail 16; 25 amperes	pc	6	8.500	51.000	30,09 €
Le transport du materiales	ff	1	500.000	500.000	295,00 €
Autres materiales	ff	1	380.000	380.000	224,20 €
Le main d'oeuvre des techniciens	ff	1	1.500.000	1.500.000	885,00 €
				19.495.000	11.502,05 €
tva 18%				980.000	578,20 €
				20.475.100	12.080,25 €



Ilustración 21. Presupuesto B4 TRADE.

- SUNLIGHT HARDWARE:

- Presentó un presupuesto para un sistema de paneles solares con inversor únicamente, sin incluir baterías.
- Su comunicación se limitó al presupuesto, sin detalles técnicos adicionales ni referencias.
- Presupuesto recibido: 17.305.780 francos ruandeses; 10.210,41€ (impuestos incluidos).

HOPITAL NEMBA

LE DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF POUR L'ALIMENTATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AU FONCTIONNEMENT DE DEUX FERS A REPASSER ET L'ECLAIRAGE DE 20LAMPES AU SERVICE DE LA BUANDERIE

N°	DESIGNATION	UNITE	QTITE	PRIX UNIT.	PRIX TOTAL
1	Modules solaires de 580WC./24Volts	pce	10	380,000	3,800,000
2	Convertisseur SINUS Hybride 48 Volts / 9KVA yavec le regurateur de tension incorporé	pce	1	5,280,000	5,280,000
S/TOTAL 1					9,080,000
3	Support des modules solaires et accessoires	ff	1	1,420,000	1,420,000
4	Les ampoules Led de 18W	pce	20	35,000	700,000
5	Les boîtes de dérivation	pce	10	3,000	30,000
6	Le cable VOB de 2.5mm	RI	8	55,000	440,000
7	Tuyaux de 3/4 et accessoires	pce	50	600	30,000
8	Le cable CRGVB de 4 x 10 mm souple	ml	20	8,800	176,000
9	Interrupteurs et prises avec terre	pce	22	6,500	143,000
10	Goulottes de 25mm x 16mm	pce	4	7,500	30,000
11	Le coffret divisionnaire de fusibles de 10; 16Amp.	pce	1	212,000	212,000
12	L'armoire de connexion et de protection	pce	1	180,000	180,000
13	Meter point with self consumption	pce	1	120,000	120,000
14	Boîte de protection de commande	pce	1	450,000	450,000
15	La connexion de mise à la terre	ff	1	180,000	180,000
16	Le transport du matériels et les déplacements	ff	1	460,000	460,000
17	Les imprévus	ff	1	200,000	200,000
18	La main d'oeuvre (Installation et équipement)	ff	1	2,200,000	2,200,000
S/ TOTAL 2					6,971,000
TOTAL					16,051,000
TAXES & TVA			18%	6,971,000	1,254,780
GRAND TOTAL					17,305,780

Nous disons; la somme de Dix sept millions trois cent cinq mille sept cent quatre vingt francs rwandais

17 305 780 frw = 10 816 Euros

Fait à kigali , le 16 Août 2025

Pour Sunlight Hardware Ltd

Directeur Technique : NZAMWITA SAMSON

Tél : 0788 593 245



Ilustración 22. Presupuesto SUNLIGHT HARDWARE.

- **COMPANY G.G.C. LTD:**

- Proporcionaron referencias de un proyecto de instalación solar similar, recientemente finalizado.
- Compartieron fotos, un esquema técnico de instalación y detalles sobre el monitoreo remoto.
- Cuenta con una sólida presencia local y capacidad técnica para implementar el proyecto conforme a la normativa de Ruanda.
- Presupuesto recibido: 18.206.265 francos ruandeses; 10.741,70€ (impuestos incluidos).

COMPANY G.G.C LTD
TIN : 102158495
TEL : +250788625055
EMAIL ; mbjmv66@gmail.com

LE PROJET D'ELECTRIFICATION EN ENERGIE SOLAIRE A L'HOPITAL NEMBA
SERVICE DE BUANDERIE

LE DEVIS ESTIMATIF POUR L'ALIMENTATION EN ECLAIRANT LE LAMPES
DE L'INTERIEUR & EXTERIEUR ET DEUX PRISES DE REPASSAGE

N°	Désignation du matériels	Unité	Qtité	P. Unitaire	Prix Total
1	Les panneaux solaires de 580watts /24Volts	pc	12	430,000	5,160,000
2	Le convertisseur hybride de 48volts /10KVA	pc	1	4,800,000	4,800,000
3	Le régulateur MPPT 40 à 45A	pc	1	950,000	950,000
4	Les support de panneaux	pc	1	580,000	580,000
5	Les lampes Led de 36w	pce	18	35,000	630,000
6	Le câblage de tout le bâtiment	ff	1	472,000	472,000
7	La connexion de panneaux vers regurateur de 50mm et de 25mm	ff	1	220,000	220,000
8	Le remplacement de tous les interrupteurs et des prises avec terre	pce	10	6,550	65,500
9	Le coffret divisionnaire de fusibles	pce	1	150,000	150,000
10	Le transport du matériels et les déplacements	ff	1	220,000	220,000
11	Les imprévus	ff	1	146,000	146,000
12	La main d'oeuvre totale	ff	1	1,653,000	1,653,000
	SOUS TOTAL				15,046,500
	TAXES		21%	15,046,500	3,159,765
	TOTAL				18,206,265

Nous disons; la somme de dix huit millions deux cent six mille
deux cent soixante cinq francs rwandais (18 206 265 rwf).

Fait par Company G.G.C LTD
Directeur : GATARUGAMBA Jean Marie Vianney

NEMBA ,Le 17/8/2025



Ilustración 23. Presupuesto COMPANY G.G.C. LTD.

Proyecto de referencia que presentaron:

GAKENKE GENERAL CONSTRUCTION LTD (GGC Ltd)

Project Reference – Solar Energy Installation

Client: La Compagnie des Filles de la Charité de Saint Vincent de Paul

Location: Three community houses

Scope of Work: Design, supply, and installation of independent rooftop solar systems for reliable electricity generation.

Capacity: Systems designed to produce high and stable electricity output, meeting community daily needs.

Materials & Equipment Used:

- Victron Energy – power management and system control
- Legrand – distribution and protection components
- Yesss Électrique – electrical accessories
- Prysmian – high-quality cabling
- High-performance inverters

Key Result:

The installations provided a sustainable, efficient, and durable solar energy supply, strengthening the community's self-reliance and reducing dependence on the grid.

Ilustración 24. Proyecto de referencia presentado.

A continuación, se muestran imágenes de muestra proporcionadas por GGC Ltd de un proyecto de instalación solar anterior de escala similar, que demuestran su capacidad técnica y la calidad de su trabajo.





Ilustración 25. Imágenes de referencia

Esquema técnico de la instalación que presentaron:

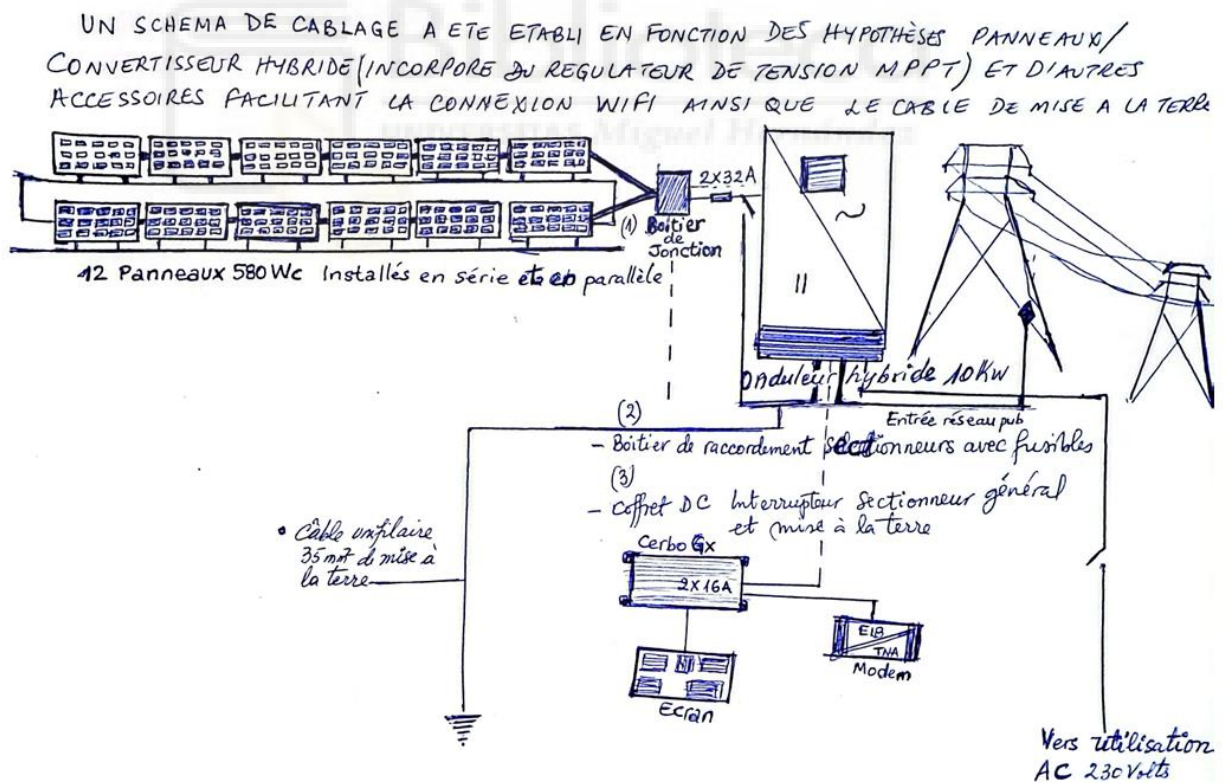


Ilustración 26. Esquema técnico instalación.

Esquema unifilar.

1. Conjunto fotovoltaico (paneles solares).
2. Combinador de CC / fusibles.
3. Cable de CC al inversor.
4. Inversor (conexión a red).
5. Cuadro de distribución de CA.
6. Cargas (iluminación, plancha, lavadoras).

SCHEMATIC DIAGRAM – 10 kW HYBRID SOLAR PV SYSTEM

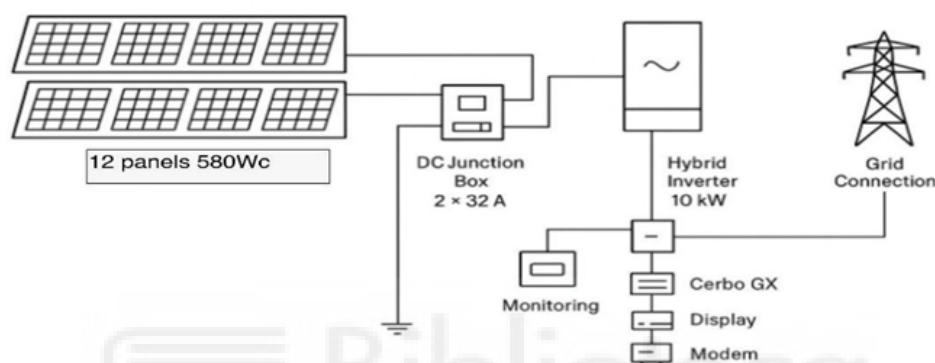


Ilustración 27. Esquema unifilar instalación.

Nota: Este sistema interactúa con la red eléctrica y no incluye baterías. El inversor convierte la CC de los paneles en CA para las cargas del hospital y se sincroniza con la red.

Monitoreo remoto.

- Hardware: inversor con monitoreo integrado o un módem GSM/Wi-Fi conectado al inversor.
- Datos enviados a la plataforma en la nube: producción de energía (kW), energía producida (kWh), estado del inversor, alarmas (fallas) e información meteorológica/irradiación básica, si está disponible.
- Panel de control: potencia en tiempo real, consumo de energía diario/mensual, gráficos históricos y alertas automáticas por SMS/correo electrónico en caso de que el sistema deje de funcionar.

- Informes y acceso: el hospital y el equipo del proyecto pueden tener cuentas de visualización; se pueden generar informes resumidos semanales o mensuales.

4.7. Análisis comparativo de proveedores.

En la tabla siguiente se resumen las principales características de las tres ofertas recibidas para un sistema fotovoltaico de aproximadamente 7 kWp, adaptado al presupuesto disponible de 11.000 €.

Empresa	Experiencia	Documentación técnica	Monitorización	Importe (RWF)	Importe (€) *
B4 TRADE	Media	Limitada	No	20.475.100	12.080,25
SUNLIGHT HARDWARE	Baja	Escasa	No	17.305.780	10.210,41
GGC LTD	Alta	Completa	Sí	18.206.265	10.741,7

Ilustración 28. Tabla comparativa económica proveedores.

*Nota: Conversión RWF→€ realizada con tipo de cambio fijo 1 EUR = 1.694,915254 RWF (importes en € orientativos).

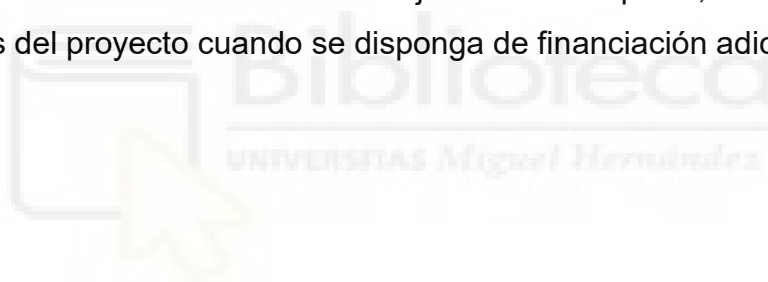
La oferta de B4 Trade presenta un presupuesto superior al disponible y una documentación técnica limitada, sin referencias específicas de proyectos en hospitales. Sunlight Hardware ofrece el precio más bajo, pero con escasa información técnica y sin evidencias claras de experiencia previa. Por su parte, GGC Ltd aporta una propuesta equilibrada, con referencias de instalaciones similares, esquema unifilar, sistema de monitorización remota y un coste ligeramente superior al de la oferta más económica, pero aún dentro del presupuesto disponible.

4.8. Elección final del proveedor.

La oferta seleccionada corresponde a GGC Ltd, tanto por su equilibrio entre coste y calidad técnica como por la documentación proporcionada y su experiencia previa.

Para la elección final del proveedor se tuvo en cuenta la importancia de la fiabilidad y del soporte técnico local en un entorno sanitario, para ello se seleccionó a GGC Ltd como proveedor preferente para la ejecución de la instalación fotovoltaica de la lavandería del Hospital de Nemba.

Inicialmente, el acuerdo entre la UMH y el Hospital de Nemba contemplaba la instalación conjunta de paneles fotovoltaicos y calentadores solares de agua para la lavandería. Sin embargo, en la comunicación posterior del proveedor se indica que el presupuesto actual solo permite ejecutar la parte fotovoltaica, quedando los calentadores solares fuera de esta primera fase por motivos económicos. Estos se mantienen como objetivo a medio plazo, de cara a futuras ampliaciones del proyecto cuando se disponga de financiación adicional.



5. EJECUCIÓN REAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Tras la fase de diseño y selección del proveedor descrita anteriormente, se procedió a la ejecución real de la instalación fotovoltaica en el edificio de la lavandería del Hospital de Nemba.

Los materiales incluidos en la ejecución del sistema son los siguientes:

- Paneles solares: 12 unidades Gosolar, N-type, Topcon, Half-cell solar module. Monofacial 580w.



Ilustración 29. Panel solar Gosolar.

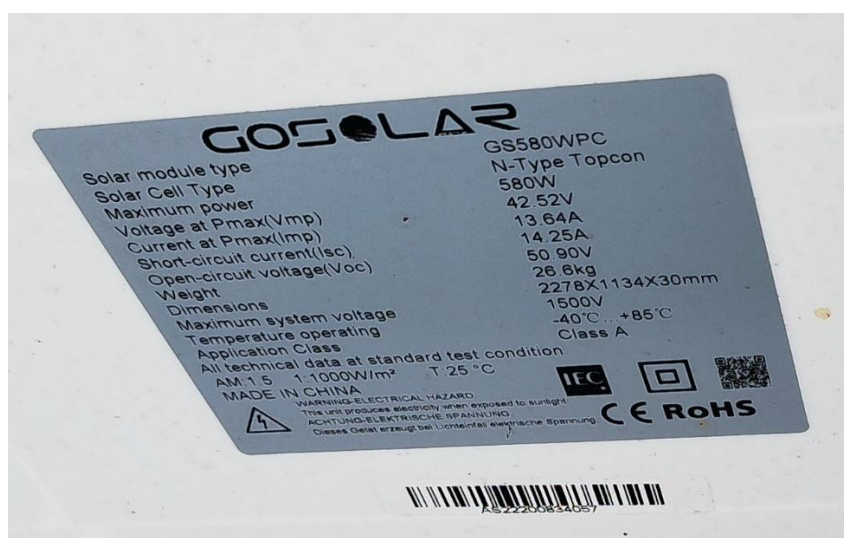


Ilustración 30. Placa de datos del fabricante.

Linear Performance Warranty

- 15 Year Product Warranty
- 30 Year Linear Power Warranty
- <1% First year Power Degradation
- <0.4% Year 2-30 Power Degradation



MBB Half-Cut Solar Cell

182x91mm, 144 cells.

Higher Module Conversion Efficiency

Higher module output up to 585W with module efficiency up to 22.65%.

Low-Light Performance

Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.

Certifications

Quality Management System and Product Certification.

ISO 12150:2013, ISO 17302:2013, IEC 61701
 IEC 61215-2 (Bifaciality): 2021
 ISO 9001:2015: Quality Management System
 ISO 14001:2015: Environment Management System
 ISO 45001:2018: Occupational health and safety management systems



Light-Weight Design

Light-weight design using transparent backsheet for easy installation and low BOS cost.

Higher Power Output

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

Ilustración 31. Características panel solar Gosolar.



182mm , 72-CELL HALF-CUT SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Module Type: GoSolar Pro-72HC	560M	565M	570M	575M	580M	585M
Maximum Power(Wp)	560W	565W	570W	575W	580W	585W
Open Circuit Voltage(Voc)	50.30V	50.46V	50.60V	50.75V	50.90V	51.10V
Short Circuit Current(Isc)	13.97A	14.04A	14.11A	14.18A	14.25A	14.31A
Maximum Power Voltage(Vm)	41.92V	42.07V	42.22V	42.37V	42.52V	42.70V
Maximum Power Current(Imp)	13.36A	13.43A	13.50A	13.57A	13.64A	13.70A
Module Efficiency	21.67%	21.87%	22.06%	22.25%	22.45%	22.65%
Maximum Series Fuse	25A					
Watts Positive Tolerance	0~+5W					
Number Of Diode	3					
Standard Test Conditions	1000W/MP,25°C,AM1.5					
Maximum System Voltage	1500V/DC					
Temperature-Coefficient Isc	+0.043%/°C					
Temperature-Coefficient Voc	-0.24%/°C					
Temperature-Coefficient Pmp	-0.30%/°C					
Operating Temperature	-40°C...+85°C					
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C					
Load Capacity For The Cover Of The Module (Glass)	5400Pa(IEC61215)(snow)					
Load Capacity For The Front & Back Of The Module	2400Pa(IEC61215)(wind)					

ELECTRICAL PERFORMANCE (NOCT)

Module Type: GoSolar Pro-72HC	560M	565M	570M	575M	580M	585M
Maximum Power(Wp)	421W	425W	429W	433W	437W	441W
Open Circuit Voltage(Voc)	47.78V	47.91V	48.04V	48.17V	48.28V	48.40V
Short Circuit Current(Isc)	11.28A	11.35A	11.42A	11.48A	11.55A	11.61A
Maximum Power Voltage(Vm)	39.45V	39.58V	39.71V	39.84V	39.95V	40.18V
Maximum Power Current(Imp)	10.67A	10.74A	10.81A	10.87A	10.94A	11.00A

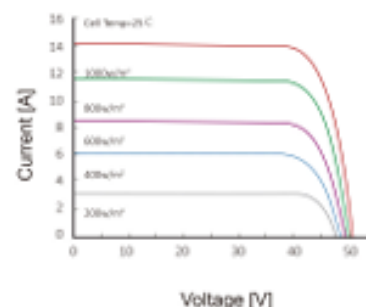
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Front Cover (Material / Thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (Color)	TPT in white
Cell (Quantity / Material / Dimensions)	144(6x12x2) / monocrystalline silicon
Frame (Material / Color)	aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver
Junction Box (Protection Degree)	≥IP68
Cables & Plug Connectors	4mm ² , 300mm in length, length can be customized
Module Dimensions (L / W / H)	2278x1134x30/35mm
Module Weight	26.6kg / 27.7kg
Application Class	Class A
Electrical Protection Class	Class II
Fire Safety Class	Class C

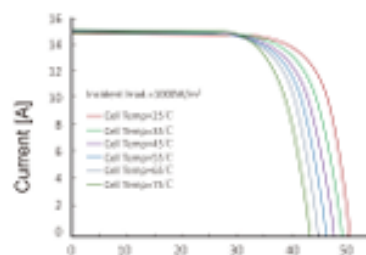
PACKING

Container Size	Units/Pallet (PCS)	Weight/Pallet (KG)	Pallet Measurement (mm)	Units/Container (PCS)
40HQ	36 (30mm)	1000	2300x1120x1260	720
	31 (35mm)	900	2300x1120x1260	620

CURRENT-VOLTAGE CURVES:



Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance



Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1.000 W/m²

MODULE DIAGRAM:

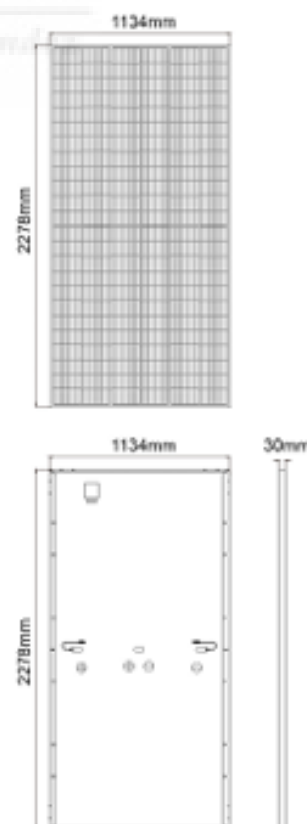


Ilustración 32. Hoja de datos panel solar Gosolar.

- 18 luminarias LED de 36 W.
- Mano de obra, estructuras, cableado, protecciones y materiales auxiliares necesarios para la instalación y puesta en marcha.
- Inversor: El inversor es DEYE: Single Phase Hybrid Inverter.

Deye 1 convertidor/inversor de 48 V / 10 kVA.



Ilustración 33. Inversor instalado.

Technical Data

www.deyeinverter.com

Model	SUN-7.6K-SGD2 LP1-EU-AM2	SUN-8K-SGD2 LP1-EU-AM2	SUN-10K-SGD2 LP1-EU-AM3	SUN-12K-SGD2 LP1-EU-AM3
Battery Input Data				
Battery Type	Lead-acid or Lithium-ion			
Battery Voltage Range (V)	40-60			
Max. Charging Current (A)	190	190	220	250
Max. Discharging Current (A)	190	190	220	250
Charging Strategy for Li-ion Battery	Self-adaption to BMS			
Number of Battery Input	1			
PV String Input Data				
Max. PV Access Power (W)	15200	16000	20000	24000
Max. PV Input Power (W)	12160	12800	16000	19200
Max. PV Input Voltage (V)	500			
Start-up Voltage (V)	125			
MPPT Voltage Range (V)	150-425			
Rated PV Input Voltage (V)	370			
Max. Operating PV Input Current (A)	26+26		26+26+26	
Max. Input Short-Circuit Current (A)	44+44		44+44+44	
No. of MPP Trackers/ No. of Strings MPP Tracker	2/2+2		3/2+2+2	
AC Input/Output Data				
Rated AC Input/Output Active Power (W)	7600	8000	10000	12000
Max. AC Input/Output Apparent Power (VA)	8360	8800	11000	13200
Rated AC Input/Output Current (A)	34.6/33.1	36.4/34.8	45.5/43.5	54.6/52.2
Max. AC Input/Output Current (A)	38/36.4	40/38.3	50/47.9	60/57.4
Max. Continuous AC Passthrough (grid to load) (A)	50		60	
Peak Power (off-grid) (W)	2 times of rated power, 10s			
Power Factor Adjustment Range	0.8 leading to 0.8 lagging			
Rated Input/Output Voltage/Range (V)	220/230 0.85Un-1.1Un			
Rated Input/Output Grid Frequency/Range(Hz)	50/45-55, 60/55-65			
Grid Connection Form	L+N+PE			
Total Current Harmonic Distortion THDI	<3% (of nominal power)			
DC Injection Current	<0.5% In			
Efficiency				
Max. Efficiency	97.6%			
Euro Efficiency	96.5%			
MPPT Efficiency	>99%			
Equipment Protection				
Integrated	DC Reverse Polarity Protection, AC Output Overcurrent Protection, Thermal Protection, AC Output Overvoltage Protection, AC Output Short Circuit Protection, DC Component Monitoring, Arc Fault Circuit Interrupter (optional), Anti-Islanding Protection, DC Switch, Insulation Impedance Detection, Residual Current Detection			
Surge Protection Level	TYPE II(DC), TYPE II(AC)			
Interface				
Communication Interface	RS485/RS232/CAN			
Monitor Mode	GPRS/WIFI/Bluetooth/4G/LAN(optional)			
General Data				
Operating Temperature Range (°C)	-40 to +60°C, >45°C Derating			
Permissible Ambient Humidity	0-100%			
Permissible Altitude	2000m			
Noise (dB)	<45			
Ingress Protection(IP) Rating	IP 65			
Inverter Topology	Non-Isolated			
Over Voltage Category	OVC III(DC), OVC III(AC)			
Cabinet Size (WxHxD mm)	420x670x233 (Excluding Connectors and Brackets)			
Weight (kg)	35.6			
Type of Cooling	Intelligent Air Cooling			
Warranty	5 Years/10 Years the Warranty Period Depends the Final Installation Site of Inverter, More Info Please Refer to Warranty Policy			
Grid Regulation	VDE4105, IEC61727/62116, VDE0126, AS4777.2, CEI 0 21, EN50549-1, G98, G99, C10-11, UNE217002, NBR16149/NBR16150			
Safety / EMC Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2			

Ilustración 34. Hoja de datos inversor instalado.

En la oferta seleccionada se incluyen 12 módulos fotovoltaicos de 580 W / 24 V, lo que supone una potencia pico total de:

$$P_{FV} = 12 \times 580 \text{ W} = 6.960 \text{ W} \approx 7 \text{ kWp.}$$

Considerando la irradiancia media diaria en Nemba (5 kWh/m²·día) y un rendimiento global del sistema aproximado de 0'80, la producción energética diaria estimada del campo fotovoltaico es:

$$E_{FV,día} = P_{FV} \cdot G \cdot \eta = 6,96 \text{ kWp} \times 5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día} \times 0,80 \approx 27,8 \text{ kWh/día.}$$

Si se compara este valor con el consumo medio diario de la lavandería (≈ 193 kWh/día), se obtiene que el sistema fotovoltaico cubrirá aproximadamente:

$$Cobertura = \frac{27,8}{193} \approx 0,14$$

Lo que supone alrededor de un 14 % de su demanda energética diaria. Por tanto, la instalación contratada no permite abastecer la totalidad de la lavandería, sino que se configura como una solución parcial de autoconsumo.

En términos anuales, esta producción equivale aproximadamente a:

$$E_{FV,día} \approx 27,8 \text{ kWh/día} \times 365 \approx 10.200 \text{ kWh/año.}$$

En términos prácticos, la energía generada por el sistema fotovoltaico permitirá reducir parcialmente la dependencia de la red eléctrica en la lavandería, aportando aproximadamente un 14 % de su demanda energética diaria. Esta fase se concibe como una implantación inicial o piloto, limitada por el presupuesto disponible, pero coherente con el dimensionamiento teórico realizado y con los objetivos de mejora de la sostenibilidad energética del hospital.



Ilustración 35. Edificio Lavandería Hospital de Nemba

La implementación incluyó la evaluación técnica del emplazamiento, el montaje estructural de los módulos fotovoltaicos.



Ilustración 36. Proceso de montaje de módulos fotovoltaicos en la cubierta del edificio de lavandería.



Ilustración 37. Conexión de paneles solares.

La instalación del inversor híbrido, así como la integración eléctrica con la red interna del hospital. Los equipos fueron instalados en condiciones adecuadas de ventilación, seguridad y accesibilidad para su operación y mantenimiento.



Ilustración 38. Instalación del inversor.

Una vez finalizada la instalación, se realizaron las pruebas de funcionamiento y puesta en marcha, verificando el cableado, la sincronización con la red eléctrica y el correcto funcionamiento de los sistemas de protección y monitorización. Estas pruebas confirman que el sistema prioriza el autoconsumo y recurre automáticamente a la red cuando la producción solar es insuficiente.



Ilustración 39. Pruebas correcto funcionamiento.

En su estado actual, la instalación se encuentra operativa y contribuye principalmente al suministro eléctrico de circuitos de iluminación y cargas de baja potencia del hospital. Debido a su potencia instalada, el sistema no está destinado a alimentar maquinaria industrial de alto consumo. Esta configuración se adapta a la potencia instalada en esta primera fase, enfocada en reducir el consumo base del edificio y validar el sistema en condiciones reales, con vistas a ampliarlo progresivamente en un futuro para cubrir más cargas de la lavandería.

Resumen técnico de la instalación ejecutada (as-built):

- Potencia pico instalada: 6,96 kWp, mediante 12 módulos de 580 Wp (condiciones STC).
- Configuración: dos filas de 6 paneles en serie.
- Inversor: 10 kW, marca Deye, modelo SUN-10K-SG02 LP1-EU-AM3.
- Orientación/emplazamiento: instalación sobre cubierta del edificio de lavandería, con pendiente aproximada de 10° y azimut cercano a 173°.
- Sistema: Inversor híbrido preparado para baterías, sin baterías instaladas en esta fase.



Ilustración 40. Sistema fotovoltaico instalado y en funcionamiento en el Hospital de Nemba.

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS.

6.1. Viabilidad técnica y económica.

La solución fotovoltaica seleccionada demuestra ser técnicamente adecuada para el entorno del Hospital de Nemba y compatible con su infraestructura eléctrica. El sistema propuesto se integra en la red interna del hospital sin necesidad de modificaciones estructurales significativas y utiliza equipos acordes con las condiciones climáticas y operativas del lugar. Aunque la potencia instalada corresponde a una primera fase del proyecto, la configuración permite su futura ampliación sin alterar el diseño principal.

Desde el punto de vista económico, la instalación se ajusta al presupuesto disponible y prioriza la fiabilidad y el soporte técnico local, factores especialmente relevantes en un contexto rural. La energía generada reducirá parcialmente la dependencia de la red, contribuyendo a disminuir los costes operativos del hospital a medio y largo plazo.

Para estimar el impacto económico se adopta como valor de referencia la tarifa de centros de salud (Health facilities, 214 RWF/kWh) publicada por RURA en la revisión de tarifas que entró en vigor el 1 de octubre de 2025.

Se estima el ahorro económico anual asociado al autoconsumo fotovoltaico mediante:

$$\text{Ahorro} = kWh_{\text{anual}} \times \text{Tarifa}$$

Considerando una energía anual auto consumida de 10.200 kWh/año (estimación por cálculo simplificado), el ahorro anual aproximado sería:

$$10.200 kWh_{\text{anual}} \times 214 \frac{RWF}{kWh} = 2.182.800 RWF \approx 1.288€$$

Además, al tratarse de un proyecto enmarcado en acciones de cooperación, la inversión tiene un retorno social significativo, reforzando un servicio sanitario esencial y mejorando la resiliencia energética del centro.

En conjunto, el proyecto es viable tanto técnica como económicamente, y constituye una base sólida para futuras ampliaciones que permitan incrementar su impacto.

6.2. Beneficios ambientales y sociales esperados.

La implantación del sistema fotovoltaico supone un avance significativo en términos de sostenibilidad para el Hospital de Nemba. Aunque se trata de una primera fase, la energía generada permitirá disminuir la dependencia de una red eléctrica inestable y reducir el uso de fuentes no renovables, contribuyendo así a una menor huella ambiental del centro.

El proyecto también aporta beneficios sociales directos, especialmente en la calidad y continuidad del servicio de lavandería, un área clave para la prevención de infecciones y el adecuado funcionamiento del hospital. La mejora en la fiabilidad del suministro energético fortalece la capacidad del personal sanitario para mantener estándares higiénicos adecuados.

Además, la intervención tiene un efecto positivo en la comunidad: introduce tecnología renovable en un entorno donde su adopción aún es limitada y favorece la capacitación técnica del personal local, impulsando la autonomía del hospital y la sostenibilidad a largo plazo.

6.3. Comparativa con la realidad española.

La experiencia desarrollada en Nemba presenta diferencias significativas respecto a proyectos similares en España. En el contexto español, el autoconsumo cuenta con un marco regulatorio consolidado, procedimientos estandarizados y una amplia disponibilidad de proveedores, lo que simplifica la tramitación y garantiza una mayor homogeneidad técnica.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), resume en la siguiente imagen los tipos de autoconsumo de los que se disponen en España.

Autoconsumo INDIVIDUAL Un consumidor asociado O Autoconsumo COLECTIVO Varios consumidores asociados	Instalación PRÓXIMA en RED INTERIOR Conexión Red interior.	SIN excedentes (individual) Mecanismo anti-vertido.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR No existe TITULAR INSTALACIÓN Consumidor PROPIETARIO Puede ser diferente
		SIN excedentes ACOGIDA a compensación (colectivo) Mecanismo anti-vertido.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR No existe TITULAR INSTALACIÓN Consumidor PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes ACOGIDA a compensación Fuente renovable. Potencia de producción ≤ 100kW. Si aplica, contrato único consumo-auxiliares. Contrato de compensación No hay otro régimen retributivo.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo PROPIETARIO Puede ser diferente
	Instalación PRÓXIMA a TRAVÉS DE RED Conexión a red BT del mismo centro de transformación. Distancia entre contadores generación y consumo < 500 m, ambos conectados en BT. Misma referencia catastral (14dígitos).	CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Resto de instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente

Ilustración 41. Tipos autoconsumo en España según IDAE

En Ruanda, aunque existe un esfuerzo institucional por promover las energías renovables, la normativa es menos madura y el acceso a equipamiento especializado puede presentar dificultades logísticas y de disponibilidad. Esto otorga un mayor peso a la elección del proveedor y al acompañamiento técnico durante la ejecución del proyecto.

Asimismo, el impacto relativo de una instalación fotovoltaica es distinto en ambos escenarios. En España, suele complementar un sistema energético estable; en Nemba, supone una mejora significativa en la calidad del servicio y en la resiliencia operativa del hospital, amplificando su valor social y sanitario.

6.4. Análisis de resultados a partir de la visita técnica.

Con el objetivo de complementar el análisis teórico y la descripción de la implementación real del sistema fotovoltaico, se llevó a cabo una visita técnica al Hospital de Nemba por parte de miembros del equipo universitario. Durante esta estancia se realizaron mediciones energéticas in situ, auditorías de consumo en distintos cuadros eléctricos y un análisis detallado del comportamiento real de la instalación y de la demanda energética del hospital.

Los datos recopilados permitieron realizar perfiles de consumo eléctrico del hospital, contrastando estimaciones iniciales con valores medidos directamente en la instalación.

Adicionalmente, los compañeros desarrollaron una simulación energética mediante TRNSYS empleando parámetros técnicos detallados de la instalación y curvas de demanda derivadas de las mediciones realizadas, lo que permitió evaluar el desempeño del sistema en condiciones más próximas a la realidad operativa.

En los apartados siguientes se presentan los principales resultados obtenidos durante la visita técnica, incluyendo el análisis de la demanda energética real, las mediciones realizadas in situ y los resultados de la simulación energética avanzada del sistema.

6.4.1. Demanda energética observada durante la visita técnica.

Durante la visita técnica al Hospital de Nemba se llevó a cabo una recopilación adicional de información sobre la demanda energética real del centro con el objetivo de complementar y validar las estimaciones utilizadas previamente en el análisis del proyecto. Para ello, se revisaron los cuadros eléctricos principales, se consultó al personal de mantenimiento y se realizó una auditoría energética parcial centrada en el edificio de la lavandería.

El hospital dispone de diferentes puntos de medida asociados al cuadro general, al edificio de lavandería y al edificio de maternidad, como se puede observar en el siguiente esquema de distribución.

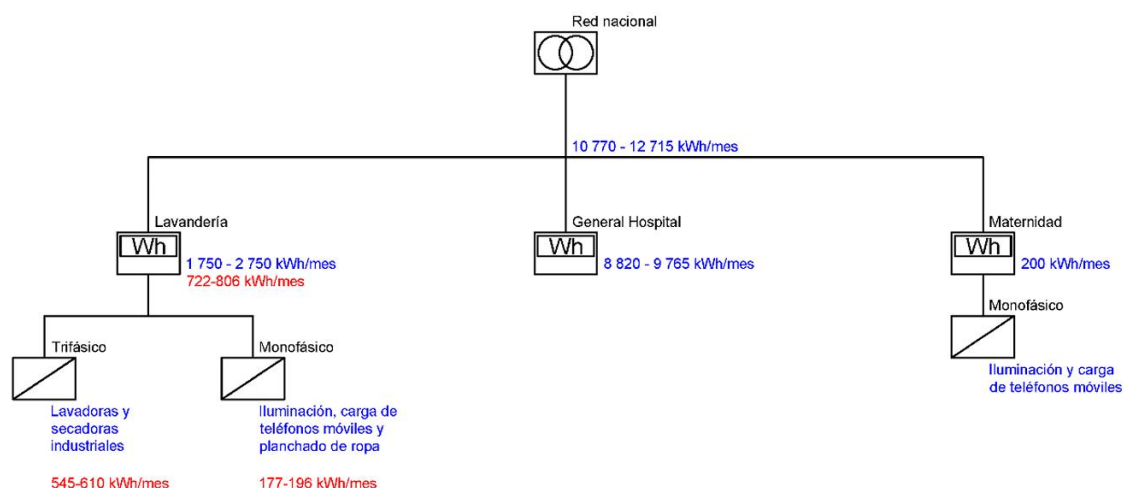


Ilustración 42 Esquema distribución energía en los tres contadores del Hospital.

En el caso del cuadro general, los registros disponibles permitieron estimar un consumo medio aproximado de 315kWh diarios.

El edificio de lavandería fue analizado con mayor detalle debido a su relevancia dentro del consumo energético del hospital. Durante la visita se realizó una auditoría energética en el cuadro trifásico que alimenta la maquinaria principal, obteniéndose perfiles horarios representativos del funcionamiento real de las cargas. A partir de los registros recogidos se estimaron consumos medios aproximados de 21,6 kWh diarios en días laborables y 14,1 kWh diarios durante fines de semana. Asimismo, mediante los datos del inversor se estimó un consumo medio de aproximadamente 6,3kWh diarios en el cuadro monofásico asociado a cargas auxiliares.

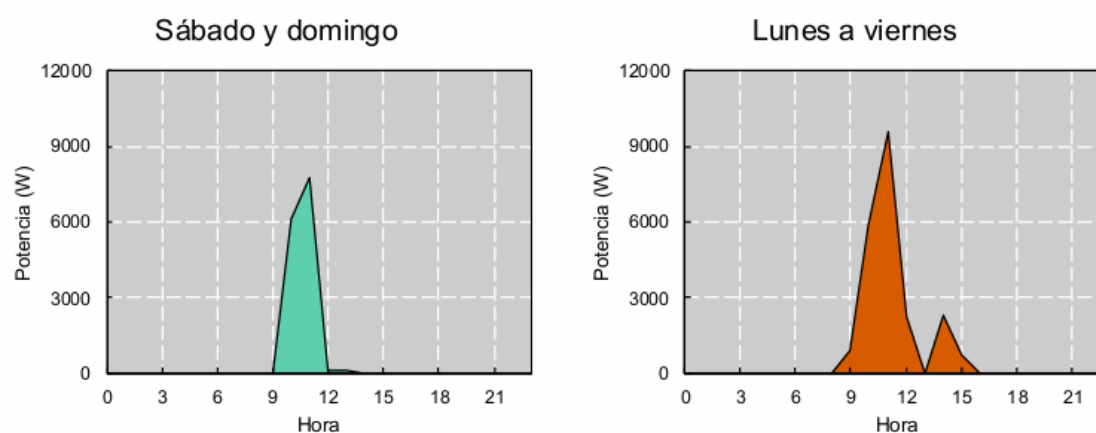


Ilustración 43. Perfiles horarios de consumo en cuadro trifásico de lavandería.

Los perfiles entre el fin de semana y días laborales son similares, teniendo el mayor consumo en las horas centrales del día.

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias entre algunas estimaciones iniciales y los valores observados durante la visita técnica, con desviaciones puntuales relevantes. No obstante, los perfiles horarios obtenidos proporcionaron una referencia sólida sobre el comportamiento real de las cargas, constituyendo una base empírica clave para la interpretación de las mediciones energéticas y la simulación avanzada del sistema fotovoltaico presentadas en los apartados siguientes.

6.4.2. Mediciones energéticas in situ durante la visita técnica.

Con el objetivo de complementar la caracterización de la demanda energética del hospital y disponer de información real sobre el comportamiento de las cargas eléctricas, durante la visita técnica se llevó a cabo una campaña de medición directa en diferentes puntos de la instalación. Estas mediciones permitieron obtener perfiles de consumo representativos del funcionamiento operativo de los edificios analizados.

Los registros energéticos se realizaron mediante equipos de monitorización temporal conectados a los cuadros eléctricos seleccionados, permitiendo recoger la evolución del consumo eléctrico a lo largo de distintas jornadas de operación.

Los datos obtenidos fueron posteriormente procesados y representados gráficamente con el fin de identificar patrones de funcionamiento, franjas horarias de mayor demanda y coherencia con los perfiles previamente estimados.

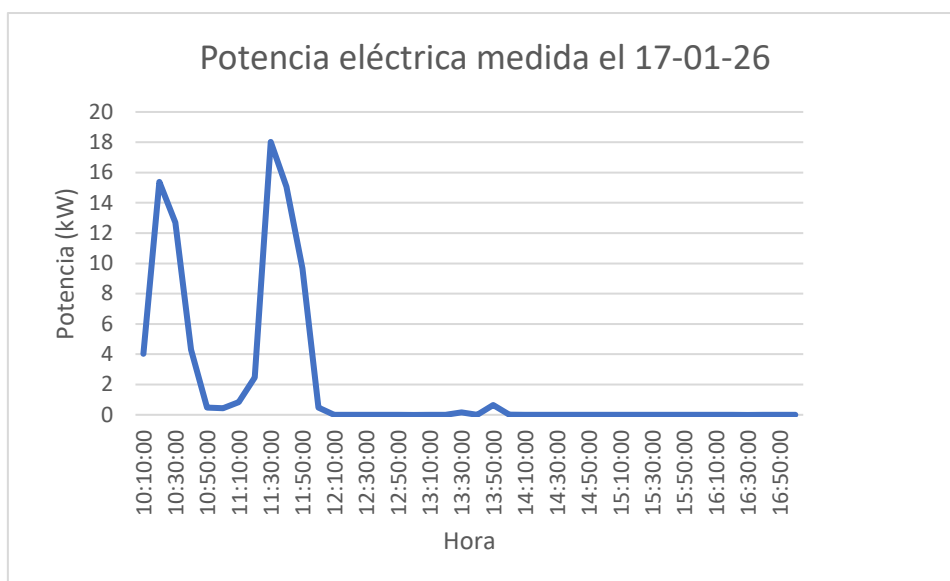


Ilustración 44. Perfil de potencia eléctrica registrado en el edificio de lavandería durante la jornada de medición del 17/01/2026.

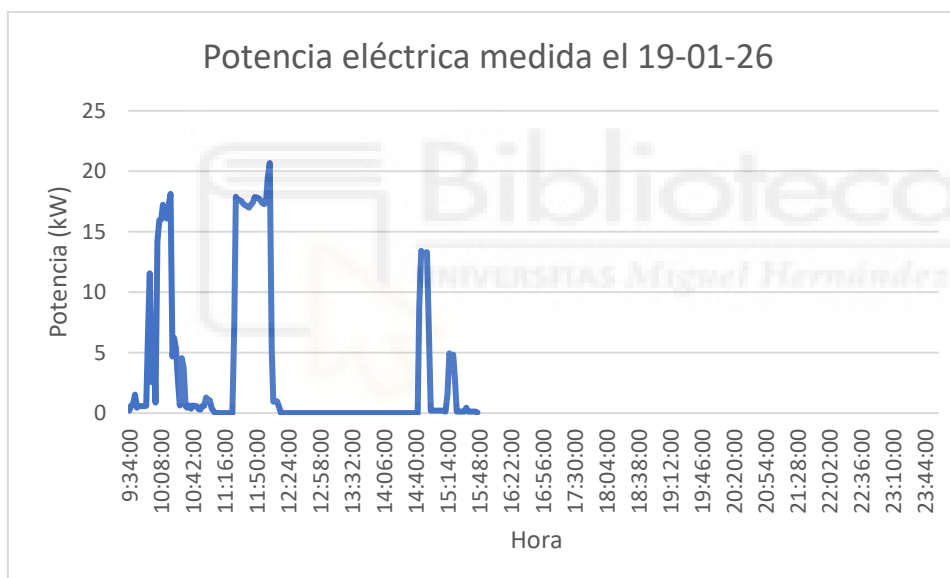


Ilustración 45. Perfil de potencia eléctrica registrado en el edificio de lavandería durante la jornada de medición del 19/01/2026

Debido a las condiciones propias de una campaña de medición puntual, algunos registros presentan discontinuidades temporales. No obstante, los datos disponibles permiten identificar de forma clara las tendencias principales de consumo y resultan adecuados para el análisis energético desarrollado en este trabajo.

Los resultados muestran que los periodos de mayor consumo se concentran principalmente durante las horas diurnas, coincidiendo con la operación habitual de los equipos y con las franjas de mayor actividad hospitalaria. Asimismo, se observa una variabilidad diaria coherente con el tipo de cargas presentes y con el uso operativo real de los edificios analizados.

En conjunto, las mediciones realizadas constituyen una base empírica relevante para validar las estimaciones previas de consumo energético y para apoyar el análisis posterior del comportamiento del sistema fotovoltaico mediante simulación energética avanzada.

6.4.3. Simulación energética avanzada mediante TRNSYS.

Con el fin de evaluar el comportamiento energético anual de la instalación fotovoltaica y complementar las estimaciones obtenidas mediante herramientas simplificadas, los compañeros desarrollaron un modelo de simulación dinámica utilizando el software TRNSYS. Este enfoque permite incorporar parámetros eléctricos específicos de los módulos fotovoltaicos, así como pérdidas del sistema e información climática representativa del emplazamiento, proporcionando una representación más ajustada del comportamiento real de la instalación

La simulación se ejecutó para un periodo anual completo (8.760 horas) empleando un fichero de “año tipo” (TMY). Dado que no se encontraron ficheros TMY específicos para Nemba, se utilizó el clima de Musanze (Ruhengeri) como localización más próxima con histórico disponible, asumiendo diferencias despreciables para el análisis fotovoltaico.

Para el generador fotovoltaico se empleó el Type 103, configurado a partir de los parámetros proporcionados por el fabricante de los módulos instalados, incorporando la influencia de la temperatura de célula y pérdidas por reflectancia. El inversor se modeló mediante el Type 48, asignándole una eficiencia del 97% (según fabricante). Adicionalmente, se consideraron pérdidas agregadas por cableado, suciedad y dispersión de parámetros entre módulos, estimadas en un 7% conforme a valores orientativos recogidos en documentación técnica del IDAE para instalaciones conectadas a red.

Como resultado, se obtuvo una producción anual máxima estimada de 12.151 kWh/año, con una producción media mensual de 1.012,6 kWh/mes y una eficiencia del parque generador del 21,7%, confirmando el elevado potencial de generación del sistema en el emplazamiento analizado.

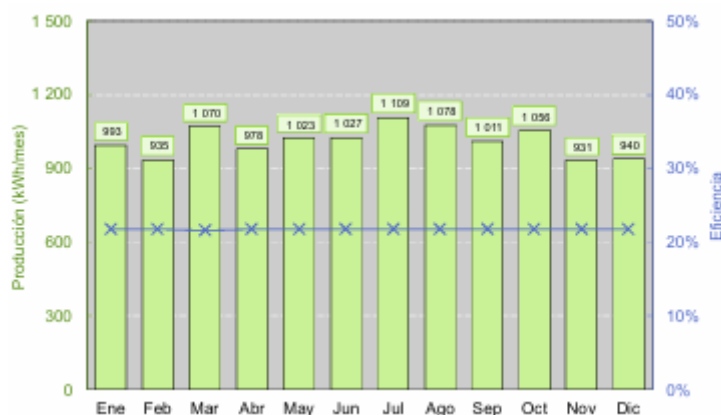


Ilustración 46. Producción mensual estimada con TRNSYS.

A partir de los resultados de la simulación se analizaron diferentes configuraciones de conexión del sistema fotovoltaico a los cuadros eléctricos del hospital, con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de la energía generada. Se descartaron los cuadros monofásicos de lavandería y maternidad debido a su baja demanda y a que presentan consumos principalmente nocturnos.

En primer lugar, se evaluó la opción de inyectar la producción fotovoltaica en el cuadro trifásico del edificio de lavandería. Dado que parte de la demanda de este cuadro coincide temporalmente con las horas de generación solar. Esta configuración se ve limitada por los elevados picos de potencia asociados al funcionamiento de la maquinaria industrial, que superan la capacidad de generación instantánea del sistema en determinados periodos. En términos energéticos, de una demanda media de 19,5 kWh/día, la instalación aporta aproximadamente 13,7 kWh/día, alcanzando un 70% de autoconsumo medio en dicho cuadro. No obstante, trasladado al balance global del hospital, esta configuración implicaría un ahorro en el término de energía en torno al 3,6%.

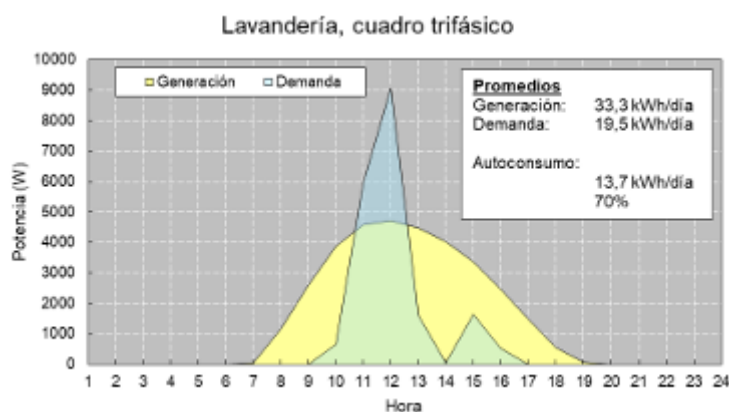


Ilustración 47. Curvas de generación y demanda en el cuadro de la lavandería.

En segundo lugar, se analizó la opción de verter la energía generada en el cuadro general del hospital. Dado que este presenta una demanda más elevada y prácticamente continua a lo largo del día (del orden de 303,9 kWh/día), lo que permite aprovechar prácticamente toda la energía generada. En esta configuración se alcanza un autoconsumo cercano al 100% de la producción fotovoltaica. El balance energético indica un ahorro del 11% en el cuadro general, que se traduce en un ahorro global aproximado del 9% en el consumo total del hospital, siendo este el máximo esperable con la potencia instalada actual.

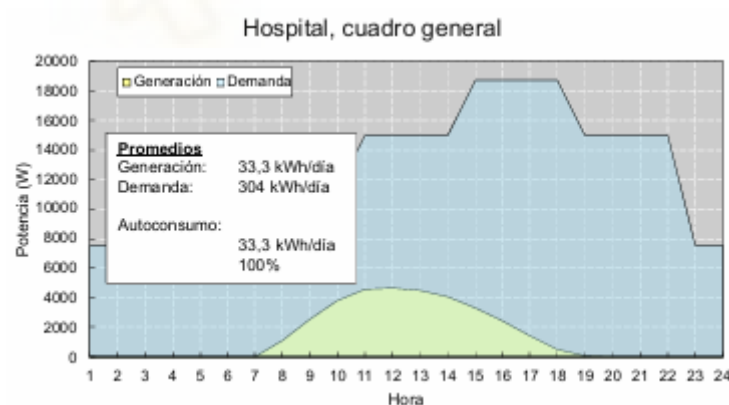


Ilustración 48. Curvas de generación y demanda en el cuadro general.

Desde el punto de vista económico, con la tarifa de referencia de 214 RWF/kWh y utilizando la producción anual estimada mediante TRNSYS (12.151 kWh/año), el ahorro anual asociado al autoconsumo se estima en:

$$\text{Ahorro} = 12.151 \times 214 = 2.600.314 \text{ RWF/año, equivalente a } \approx 1.534,19 \text{ €/año.}$$

Empleando el tipo de cambio fijo adoptado en este trabajo (1 EUR = 1.694,915254 RWF).

El ahorro de 1534€ sería para el caso de vertido al cuadro general, en el vertido a la lavandería al no consumir todo lo generado sería algo inferior.

Los resultados obtenidos mediante simulación presentan coherencia con los perfiles de consumo medidos durante la visita técnica y permiten validar el comportamiento esperado del sistema fotovoltaico en condiciones reales de operación. En conjunto, el análisis realizado mediante TRNSYS refuerza la idoneidad de la solución adoptada como primera fase de integración de generación renovable en el Hospital de Nemba y pone de manifiesto el potencial de futuras ampliaciones del sistema para incrementar la fracción de demanda cubierta por energía fotovoltaica.



7. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

El mantenimiento de la instalación fotovoltaica es un elemento clave para garantizar su rendimiento, prolongar la vida útil de los equipos y asegurar un funcionamiento seguro. Aunque los sistemas solares requieren intervenciones relativamente sencillas, disponer de un programa de mantenimiento preventivo permite reducir fallos y optimizar la producción, especialmente en entornos donde la fiabilidad energética es esencial, como el Hospital de Nemba.

Limpieza de los módulos fotovoltaicos.

La suciedad acumulada sobre la superficie de los paneles (polvo, hojas, polen o excrementos de aves) puede reducir la captación solar y, por tanto, la energía producida. Se recomienda realizar limpiezas periódicas utilizando cepillos suaves y agua de baja mineralización o purificada. Es importante evitar productos abrasivos o utensilios que puedan dañar el vidrio o los recubrimientos antirreflectantes. Se recomienda como mínimo limpiar los paneles al menos una vez al año. Hay eventos que pueden requerir una limpieza inmediata, como por ejemplo tormentas de arena, o eventos que generen mucha suciedad y residuos cercanos.



Ilustración 49. Limpieza paneles solares.

Revisión de conexiones y componentes eléctricos

Debe verificarse regularmente el estado del cableado, conectores, cajas de protección, fusibles, seccionadores y protecciones contra sobretensiones. La detección precoz de corrosión, aflojamientos o calentamientos anómalos permite prevenir averías y pérdidas de energía. También se recomienda revisar el inversor y registrar posibles alarmas o incidencias comunicadas por el sistema de monitorización.



Ilustración 50. Revisión conexiones eléctricas.

Inspección de estructuras y soportes

Las estructuras metálicas y anclajes deben inspeccionarse para garantizar su estabilidad y resistencia frente a viento, humedad y corrosión. Es necesario comprobar tornillería, perfilera, fijaciones y sellados, corrigiendo holguras o sustituyendo elementos deteriorados.



Ilustración 51. Revisión estructura.

Monitorización y detección de fallos

La monitorización continua del sistema permite comparar la producción real con los valores esperados y detectar desviaciones. Cuando es posible, se recomienda complementar esta monitorización con inspecciones termográficas, que ayudan a identificar puntos calientes, fallos de aislamiento o conexiones defectuosas.



Ilustración 52. Monitorización

Biblioteca
UNIVERSITAT Miguel Hernández

8. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS FUTURAS

8.1. Conclusiones generales del proyecto

El proyecto desarrollado ha permitido analizar en detalle la situación energética asociada al servicio de lavandería del Hospital de Nemba, caracterizar su perfil de consumo y diseñar una solución fotovoltaica adaptada al contexto técnico y económico del centro. En una fase inicial, a partir de la monitorización disponible, se estimó una demanda media del orden de 193 kWh/día y potencias punta próximas a 50 kW, atribuibles al funcionamiento de equipos industriales (lavadoras, secadoras y planchado).

Con estas magnitudes, el dimensionamiento teórico indicaba que para cubrir prácticamente la totalidad de la demanda anual del servicio sería necesaria una potencia fotovoltaica del entorno de 48 kWp, lo que suponía una solución fuera del alcance del presupuesto disponible.

Sin embargo, el presupuesto disponible limitó la instalación real de una primera fase a un sistema de aproximadamente 7 kWp, lo que permite cubrir en torno al 14 % del consumo eléctrico de la lavandería. Teniendo en cuenta que las máquinas principales presentan potencias nominales comprendidas entre 16 y 25 kW por unidad, la instalación no está concebida para alimentar de forma independiente estas máquinas, sino para actuar como apoyo energético, disminuyendo la energía adquirida a la red en las horas de generación.

Con el objetivo de validar el desempeño anual de la solución instalada y complementar las estimaciones iniciales, se incorporó una simulación energética anual mediante TRNSYS, obteniéndose una producción anual estimada de 12.151 kWh/año para la instalación ejecutada. Los resultados muestran que, inyectando la generación en el cuadro de lavandería, es posible cubrir una fracción relevante del consumo energético de dicho cuadro (del orden del 70% en términos energéticos), aunque la cobertura instantánea se ve limitada por los picos de potencia asociados al uso de maquinaria industrial. En términos económicos, adoptando una tarifa de referencia de 214 RWF/kWh, el ahorro anual asociado a esa producción se estima en torno a 2,60 millones de RWF/año

(≈ 1.534 €/año utilizando el tipo de cambio fijo del documento), al tratarse de energía que deja de adquirirse de la red.

Cabe señalar que la potencia “nominal” mencionada durante la implementación puede inducir a confusión si no se distingue entre potencia pico del campo fotovoltaico (kWp) y potencia nominal del inversor (kW). El proyecto se planteó para un campo fotovoltaico cercano a 7 kWp, mientras que la ejecución incorporó un inversor de aproximadamente 10 kW nominales, ajuste habitual por disponibilidad de equipos o previsión de ampliaciones futuras. Esta diferencia no modifica el carácter del proyecto como primera fase de autoconsumo parcial sin almacenamiento.

En conjunto, el proyecto puede considerarse técnicamente viable y coherente con los objetivos planteados: introduce generación renovable en un entorno rural, reduce parcialmente la demanda desde red en un servicio crítico como la lavandería y sienta las bases para futuras ampliaciones. Adicionalmente, la simulación realizada indica que, si en fases posteriores se evalúa la reconfiguración del punto de inyección hacia el cuadro general, podría maximizarse el autoconsumo y el impacto global en el consumo eléctrico del hospital. Además, ha fortalecido la colaboración entre la UMH y el Hospital de Nemba, combinando análisis técnico, cooperación al desarrollo y transferencia de conocimiento.

8.2. Posibles mejoras y ampliaciones

Dado que la instalación actual solo cubre una fracción de la demanda, la principal línea de mejora es la ampliación progresiva de la potencia fotovoltaica instalada, tomando como referencia el dimensionamiento óptimo de 48 kWp. Esta ampliación podría realizarse por fases, aprovechando cubiertas disponibles y buscando nuevas vías de financiación (proyectos de cooperación, convocatorias internacionales, donaciones, etc.).

Además, a partir de los resultados obtenidos en la simulación con TRNSYS, otra mejora importante sería revisar el punto de conexión del sistema. Actualmente la instalación está vertiendo a la lavandería, pero la simulación muestra que, si

se vertiera al cuadro general del hospital, se podría aprovechar mejor la energía generada y aumentar el autoconsumo, al tratarse de una demanda más alta y más constante durante todo el día. Esta opción requeriría un análisis técnico previo para comprobar que es viable y segura (protecciones, cableado y adaptación de la instalación existente).

Otra línea de actuación relevante es la incorporación de energía solar térmica para producción de agua caliente. Una parte muy significativa del consumo eléctrico de las lavadoras se debe a las resistencias de calentamiento (del orden de 16–24 kW por máquina); sustituir parcial o totalmente este aporte eléctrico por calor solar permitiría reducir de forma considerable la demanda de electricidad.

Asimismo, se propone:

- Optimizar la gestión de cargas en la lavandería, programando los ciclos de lavado y secado más intensivos en las horas de mayor producción fotovoltaica.
- Profundizar en medidas de eficiencia energética, como la renovación progresiva por equipos de mayor rendimiento, el uso de programas de lavado optimizados y la minimización de consumos auxiliares.
- Valorar a medio plazo la incorporación de un pequeño sistema de almacenamiento o soluciones híbridas (por ejemplo, coordinación con grupos electrógenos existentes) para mejorar la resiliencia frente a micro cortes de red.
- Consolidar el plan de mantenimiento preventivo y la formación del personal local para asegurar el rendimiento del sistema y alargar su vida útil.

Estas actuaciones permitirían aumentar la fracción de demanda cubierta, mejorar la fiabilidad del servicio y maximizar el impacto de la inversión ya realizada.

8.3. Impacto en la comunidad y sostenibilidad a largo plazo

Aunque la potencia instalada en esta primera fase no cubre la totalidad de las necesidades de la lavandería, el impacto del proyecto en la comunidad es significativo. La mejora del suministro eléctrico en la lavandería contribuye directamente a mantener mejores condiciones higiénicas en sábanas, ropa de pacientes y uniformes del personal, lo que repercute en la prevención de infecciones intrahospitalarias y en la calidad asistencial.

Desde el punto de vista económico, la reducción parcial del consumo de la red libera recursos que el hospital puede destinar a otros fines sanitarios (medicación, material médico, mantenimiento de equipos, etc.). A más largo plazo, la ampliación de la instalación y la posible incorporación de solar térmica podrían incrementar los ahorros y reducir aún más la vulnerabilidad frente a subidas de tarifa o problemas de suministro.

El proyecto también tiene un importante componente formativo y demostrativo. La instalación sirve como caso real para la capacitación de personal técnico local y del propio hospital, y como ejemplo replicable en otros centros de salud rurales de Ruanda. De este modo, la actuación se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 3 (salud y bienestar), ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y ODS 13 (acción por el clima), reforzando la sostenibilidad ambiental y social del hospital a largo plazo.

En conjunto, esta primera fase debe entenderse como un punto de partida: una intervención limitada por el presupuesto, pero estratégicamente diseñada para ser ampliable, replicable y capaz de generar beneficios sanitarios, económicos y ambientales sostenidos en el tiempo.

9. BIBLIOGRAFÍA.

Libros:

[1] Borja Pérez, *Todo lo que necesitas saber sobre la energía fotovoltaica para dummies*.

[2] Solo profesional, *Guía definitiva para el autoconsumo solar*.

Informe inicial:

[3] Cet Energy Technologies, "*Nemba Hospital Energy Monitoring Report*".

Informes viaje a Ruanda realizados por miembros de la Umh (documentación interna):

[4] UMH, "*La formación en energía fotovoltaica como vehículo para el desarrollo en Ruanda. Informe A*". Documento interno.

[5] UMH, "*Simulación del desempeño de la instalación diseñada. Informe C1*". Documento interno.

Enlaces y recursos en línea:

[6] UMH Internacional, "Voluntariado en Ruanda." Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://internacional.umh.es/cooperacion-y-voluntariado/voluntariado/voluntariado-en-ruanda/>

[7] UMH Internacional, "50 aniversario del hospital de Nemba en Ruanda." Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://internacional.umh.es/2024/12/04/50-aniversario-del-hospital-de-nemba-en-ruanda/>

[8] UMH Internacional, "Realizada la reforma de la UCI del Hospital de Nemba en Ruanda." Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://internacional.umh.es/2020/06/23/realizada-la-reforma-de-la-uci-del-hospital-de-nemba-en-ruanda/>

[9] Rwanda Energy Group, "Sitio oficial." Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.reg.rw/index.php?id=2>

[10] REG, “Concept Note: NEP Revision (July 2023).” Accedido: 29 nov. 2025.
[En línea]. Disponible en:

https://www.reg.rw/fileadmin/user_upload/Concept_Note_NEP_Revision_July_2023.pdf

[11] REG, “Rwanda Electricity Access Development Plan 2018–2024 (updated June 2022).” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

https://www.reg.rw/fileadmin/user_upload/Rwanda_Electricity_Access_Development_Plan_2018-2024_updated_June_2022.pdf

[12] “RegulatoryReviewoftheElectricityMarketinRwanda.pdf.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://res4africa.org/wp-content/uploads/2023/04/RegulatoryReviewoftheElectricityMarketinRwanda.pdf>

[13] Ministry of Infrastructure (MININFRA) Rwanda, “Sitio oficial.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: www.mininfra.gov.rw

[14] MININFRA, “Documento PDF (enlace directo).” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.mininfra.gov.rw/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=118271&token=d00c119512f0e0c499d75c71a85026c8e12d11f5>

[15] WeatherSpark, “Average Weather in Rwanda Year Round.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://weatherspark.com/y/150274/Average-Weather-in-Rwanda-Year-Round>

[16] European Commission Joint Research Centre, “PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea].

Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

[17] Wikipedia, “Ruanda.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ruanda>

[18] National Institute of Statistics of Rwanda, “Sitio oficial.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.statistics.gov.rw>

[19] World Bank, “Rwanda – Data.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://data.worldbank.org/country/rwanda>

[20] World Bank, “Ingredients for accelerating universal electricity access: lessons from AFE Rwanda’s inspirational approach.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2024/04/10/ingredients-for-accelerating-universal-electricity-access-lessons-from-afe-rwanda-inspirational-approach>

[21] International Energy Agency, “Country Profile: Rwanda.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/08ad9d14-4182-46c1-86ef-df24d06a4b3b/CountryProfileRwanda.pdf>

[22] GoSolar, “Paneles solares.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gosolar.co.cr/paneles-solares/>

[23] Deye, “Datasheet SUN-7.6–12K-SG02LP1-EU-AM2/AM3 (PDF).” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

https://deyinverter.com/deyinverter/2025/05/29/%E3%80%90%E3%80%91datasheet_sun-7.6-12k-sg02lp1-eu-am2_30240102201653_20250520_en.pdf

[24] Deye, “Single-phase low voltage hybrid inverter (SUN 7.6/8/10/12K) – product page.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://deyinverter.com/product/single-phase-low-voltage-hybrid-inverter/sun7-6-8-10-12ksg02lp1euam2-am3-7-612kw-single-phase-2-mppt-hybrid-inverter-lv-battery-supported.html>

[25] Inarquia, “Diferencia entre paneles solares térmicos y fotovoltaicos.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://inarquia.es/diferencia-paneles-solares-termicos-paneles-fotovoltaicos/>

[26] Solarix, “Mantenimiento instalación fotovoltaica.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solarix.es/blog/mantenimiento-instalacion-fotovoltaica/>

[27] Esenergía, “Mantenimiento preventivo módulos fotovoltaicos.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://esenergia.es/mantenimiento-preventivo-modulos-fotovoltaicos/>

[28] Rwanda Inspirer, “Rwanda announces updated electricity tariffs.” Accedido: 29 nov. 2025. [En línea]. Disponible en: https://rwandainspirer.com/rwanda-announces-updated-electricity-tariffs/?utm_source=chatgpt.com