



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE UN HOSPITAL MATERNO INFANTIL EN TIERRA SANTA

Autor: Leticia Oriol Guerra

Director: Dr. Antonio García de Garmendia

Madrid

Julio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Plan energético de un hospital materno infantil en Tierra Santa

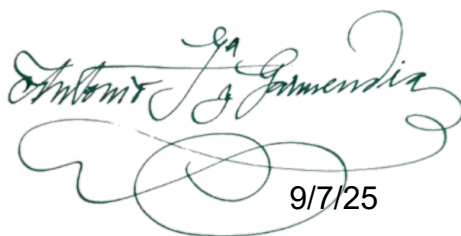
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024-2025 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Leticia Oriol Guerra

Fecha: 02/ 07/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



9/7/25

Fdo.: Dr. Antonio García de Garmendia Fecha: 9 de Julio, 2025

TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE UN HOSPITAL MATERNO INFANTIL EN TIERRA SANTA

Autor: Oriol Guerra, Leticia.

Director: García y Garmendia, Antonio.

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El presente proyecto aborda el diseño de respaldo eléctrico integral para un hospital materno infantil y su escuela de enfermería en Tierra Santa, en Tel Aviv. La motivación parte de la necesidad de garantizar un suministro continuo en entornos hospitalarios, donde cualquier interrupción puede comprometer la vida de pacientes vulnerables en la UCI, quirófanos, incubadoras etc.

Actualmente, el complejo depende de generadores diésel, pero esta solución presenta limitaciones principalmente por depender de combustibles fósiles. Al estar ubicado en Tel Aviv, en una zona geopolíticamente compleja, no se debe depender solo del suministro de este combustible ya que la cadena de suministro puede ser inestable. El objetivo de este proyecto es proponer una solución energética viable alternativa al uso de estos generadores priorizando tecnologías renovables que aseguren autonomía.

Metodología

El proyecto se ha estructurado en cinco fases:

1. Revisión del estado del arte. Se ha realizado un análisis de la literatura y de experiencias internacionales recientes para conocer las técnicas empleadas en el respaldo energético hospitalario actualmente.
2. Caracterización climática y de la infraestructura existente (red local, criticidad de cargas y clasificación por grupo funcional).
3. Análisis de demanda energética utilizando cargas térmicas, cargas eléctricas y métricas de consumo por cama y superficie útil.

4. Diseño del sistema híbrido, dimensionado de la generación fotovoltaica y del almacenamiento con baterías y selección de componentes.
5. Análisis de viabilidad económica empleando los indicadores LCOE, VAN y periodo de retorno.

Se ha realizado una revisión exhaustiva de tecnologías actuales de respaldo eléctrico en hospitales en climas similares al mediterráneo. Los generadores de emergencia son la solución más consolidada. Por otro lado, los sistemas UPS y bancos de baterías también son ampliamente utilizados ya que son capaces de proveer alimentación instantánea para equipos críticos. Las microrredes renovables, la cogeneración y las celdas de combustible son alternativas que están cobrando cada vez más importancia dado que aumentan la resiliencia y aprovechan recursos naturales o calor residual.

En la caracterización del complejo, se ha estudiado el clima de la región de Tel Aviv, de inviernos suaves y veranos cálidos. Esta zona de Israel presenta alta irradiación durante todo el año con alta probabilidad de cielos despejados, por lo que hay potencial de integración de generación fotovoltaica. Por otro lado, el análisis de la velocidad de viento ha permitido confirmar la baja viabilidad de generación eólica dado que el recurso eólico es insuficiente. También se ha estudiado la infraestructura eléctrica existente, que cuenta con acometida redundante de media tensión, transformadores y cuadros de distribución organizados por criticidad de carga conforme a la norma IEC 60364-7-710.

Época	Temperatura media	Irradiación media diaria	Probabilidad de cielos despejados	Velocidad viento
Invierno	13°C	108,8 W/m ²	80%	3,5-4,0 m/s
Verano	27°C	295,1 W/m ²	100%	3,0-3,5 m/s
Evaluación parámetro	A mayor temperatura, menor eficiencia	50-70 W/m ² Umbral mínimo de operación útil	La eficiencia disminuye con presencia de nubes	3-4 m/s Límite inferior de generación
Tecnología a la que afecta	Placas fotovoltaicas			Aerogeneradores

*Resumen de los parámetros que afectan a la generación eólica y solar fotovoltaica en Tel Aviv
(elaboración propia)*

Resultados

Con base a indicadores de consumo por cama y metro cuadrado de superficie útil, se ha realizado una estimación de la demanda energética anual, desglosada en consumo eléctrico y consumo para ventilación y climatización. Se ha concluido que la potencia pico del consumo del hospital es de 900kW y la demanda total anual es de 5GWh, distribuida entre 4GWh de consumo eléctrico y 1GWh destinado a climatización. Además, se ha establecido que el 60% de la potencia demandada corresponde a cargas críticas y esenciales. Este dato se ha utilizado para dimensionar el sistema de almacenamiento y la generación fotovoltaica.

	invierno	verano
$Q_{transmisión}$ (kW)	91,1	55,1
Q_{vent} (kW)	66,1	40,0
mes más desfavorable (kW)	157,2	95,1
mes más desfavorable (MWh/mes)	113,1	68,5
cantidad de meses	6,0	4,0
total estación (MWh)	678,9	273,8
TOTAL ANUAL	1,0	GWh

Resultados finales cargas térmicas (elaboración propia)

En la fase de diseño, se ha propuesto una solución de respaldo de tres componentes: generación fotovoltaica, almacenamiento con baterías de ion-litio y respaldo convencional gracias a los grupos electrógenos diésel ya existentes. El campo fotovoltaico, instalado en la cubierta del edificio, es de 315 módulos de silicio cristalino Hi-MO X10 Scientist de LONGi con potencia pico de generación renovable instalada de 209,475kW. Se estima que cubrirá 377 GWh del consumo eléctrico del hospital anualmente.



Planta del hospital con paneles instalados, elaboración propia a partir de plantilla de (AdityaS, 2018)

Módulos fotovoltaicos	
Módulos totales	315
Módulos por cadena	15
Cadenas totales	21
Tensión cadena	677,55 V
Corriente cadena	14,72 A
Potencia pico módulo	665 W
Potencia pico cadena	9,975 kW
Inversor (X4)	
Tensión de entrada	677,55 V
Potencia nominal	50 kW
Tensión de salida	230V/400V
Máx. eficiencia	98,10%
Potencia pico instalada	209,475 kW

Configuración de arreglo fotovoltaico y parámetros del inversor (elaboración propia)

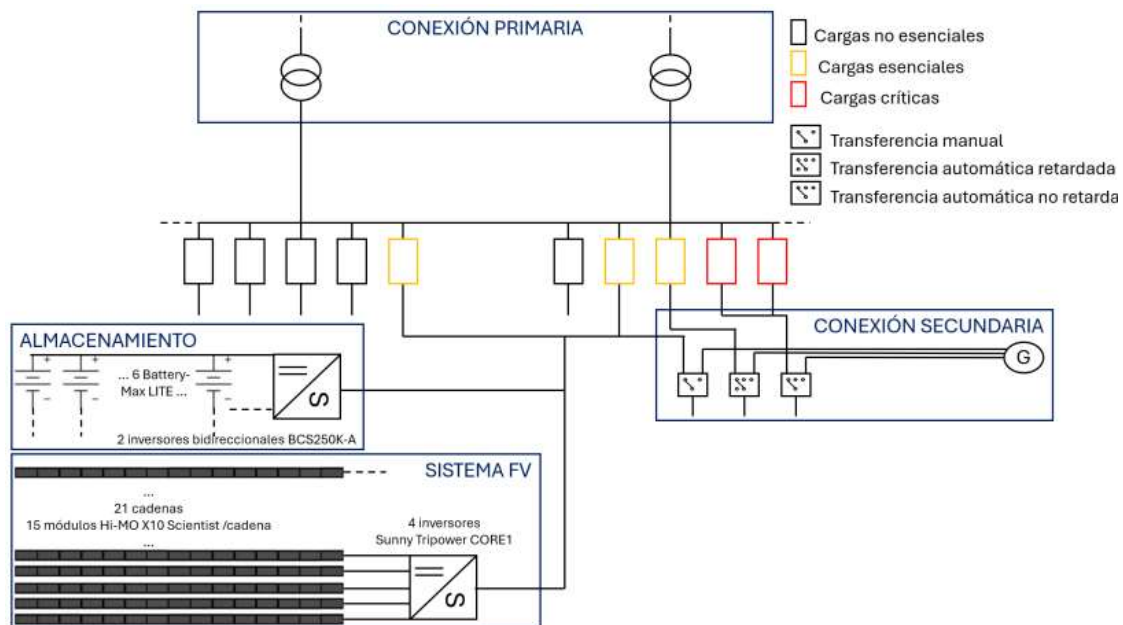
El almacenamiento diseñado es un banco de baterías de seis módulos Battery-Max LITE con 540 kWh de energía utilizable en total, conectados a dos inversores bidireccionales BCS250K-A con potencia máxima de conversión de 550kW, suficiente como para cubrir la demanda de las cargas críticas y esenciales durante periodos transitorios de los generadores convencionales e interrupciones muy breves.

Parámetro	Valor definido
Consumo eléctrico anual del hospital	4 GWh
Potencia pico consumo hospital	900 kW
Potencia pico instalada FV	209,475 kW
Potencia máxima inversores para cadenas fotovoltaicas	200 kW (50kW/unidad)
Potencia respaldada por baterías (cargas críticas y esenciales, 60% de la potencia pico)	540 kW
Potencia máxima total inversores bidireccionales para almacenamiento	550kW (275kW/unidad)
Autonomía objetivo del almacenamiento	1 hora

Resumen de parámetros de diseño: consumo, potencia instalada FV, almacenamiento e inversores (elaboración propia)

Todo esto estará coordinado por un sistema EMS que optimiza el funcionamiento para depender en menor medida posible de los combustibles fósiles. La arquitectura es modular ya que se ha priorizado la redundancia para aumentar la fiabilidad operativa y la

posibilidad de adaptarla a futuros incrementos de demanda o ampliaciones de generación renovable.



Esquema unifilar de la infraestructura existente y propuesta (elaboración propia)

El coste de la generación es de 100 €/MWh y el periodo de retorno de la inversión de 6,2 años. A pesar de tener un VAN negativo, el proyecto es beneficioso y técnicamente viable ya que dota de autonomía energética a las cargas críticas del hospital incluso con su alta exposición a fallos de red. Y representa una referencia aplicable a otros centros en condiciones comparables.

Conclusiones

El proyecto demuestra que es viable implantar un sistema de respaldo eléctrico renovable que cubra la demanda de las cargas críticas y esenciales garantizando la cobertura de estas en situaciones de fallo de la red. El diseño consiste en generación fotovoltaica con los 315 módulos de silicio monocristalino, un banco de baterías de 540 kWh de energía utilizable y los grupos electrógenos diésel ya existentes, todo ello coordinado mediante un sistema EMS que optimiza la operación global del sistema. La arquitectura es modular y escalable, en previsión a incorporación de nuevas tecnologías, incrementos en demanda o posibles fallos en alguno de los componentes. Por todo esto, el diseño sirve como referencia para otros centros con características similares y contribuye a reforzar la seguridad de atención hospitalaria.

ENERGY TRANSITION OF A MATERNAL AND CHILD HOSPITAL IN THE HOLY LAND

Author: Oriol Guerra, Leticia.

Supervisor: García y Garmendia, Antonio.

Collaborating institution: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

Introduction

This project addresses the design of a comprehensive electrical backup system for a maternal and child hospital and its associated nursing school located in the Holy Land, specifically in Tel Aviv. The motivation stems from the need to guarantee a continuous and reliable power supply in hospital environments, where any interruption can jeopardize the lives of vulnerable patients in intensive care units, operating rooms, incubators, and other critical services.

Currently, the complex relies on diesel generators; however, this solution has clear limitations due to its dependence on fossil fuels. Given its location in Tel Aviv, a region with geopolitical complexity, relying solely on the supply chain for fossil fuels is not advisable, as it may become unstable in crisis scenarios. Therefore, the main objective of this project is to propose a technically and economically viable energy solution as an alternative to conventional diesel generators, prioritizing renewable technologies that ensure greater autonomy.

Methodology

The project has been structured into five phases:

1. State of the art review. A thorough analysis of current literature and recent international experiences was conducted to identify the most common techniques used in hospital energy backup systems today.
2. Climatic and infrastructure characterization. This includes analysis of the local grid, load criticality, and classification of functional areas according to international standards.
3. Energy demand analysis. The demand was assessed considering thermal and electrical loads, using consumption indicators per hospital bed and per unit of useful surface area.
4. Hybrid system design. This involved sizing the photovoltaic generation system, designing the battery storage, and selecting the appropriate components.
5. Economic feasibility analysis. The study employed key indicators such as LCOE, NPV and payback period to evaluate the economic viability of the proposed solution.

An exhaustive review of existing backup technologies in hospitals located in Mediterranean-like climates was carried out. Emergency diesel generators remain the most widely used solution due to their reliability. On the other hand, uninterruptible power supply (UPS) systems and battery banks are also widely implemented as they can provide immediate power to critical equipment. Renewable microgrids, cogeneration, and fuel cells are emerging as increasingly relevant alternatives, as they improve system resilience and take advantage of local renewable resources or residual heat.

Regarding the characterization of the complex, the climate of the Tel Aviv region, characterized by mild winters and warm summers, was analyzed. This area of Israel benefits from high solar irradiance throughout the year and a high probability of clear skies, which confirms the potential for integrating photovoltaic generation. Conversely, the analysis of average wind speeds confirmed the low feasibility of wind power generation, as the wind resource is insufficient. Additionally, the existing electrical infrastructure was studied in detail; it already includes a redundant medium-voltage connection, transformers, and distribution panels organized by load criticality, in accordance with IEC 60364-7-710 standards.

Season	Average temperature	Average daily irradiance	Probability of clear skies	Wind Speed
Winter	13°C	108,8 W/m ²	80%	3,5-4,0 m/s
Summer	27°C	295,1 W/m ²	100%	3,0-3,5 m/s
Parameter evaluation	Higher temperature, lower efficiency	50–70 W/m ² Minimum useful operating threshold	Efficiency decreases in presence of clouds	3–4 m/s Lower limit for generation
Affected technology	Photovoltaic panels			Wind turbines

Summary of the parameters affecting wind and solar photovoltaic generation in Tel Aviv (own elaboration)

Results

Based on consumption indicators per hospital bed and per square meter of usable floor area, an estimate of the annual energy demand has been carried out, broken down into electrical consumption and consumption for ventilation and air conditioning. It was concluded that the hospital's peak power demand is approximately 900 kW, with a total annual demand of 5 GWh, distributed as 4 GWh for general electrical consumption and 1 GWh dedicated to thermal loads such as HVAC systems. Furthermore, it was determined that about 60% of the total power demand corresponds to critical and essential loads. This figure has been a key input for sizing both the battery storage system and the photovoltaic generation required to ensure secure and continuous operation.

	Winter	Summer
Q_{transmission} (kW)	91.1	55.1
Q_{vent} (kW)	66.1	40.0
Most unfavourable month (kW)	157.2	95.1
Most unfavourable month (MWh/mont)	113.1	68.5
Number of months	6.0	4.0
Total season (MWh)	678.9	273.8
TOTAL ANNUAL	1.0	GWh

Final results of thermal loads (own elaboration)

In the design phase, a three-component backup solution has been proposed: photovoltaic generation, lithium-ion battery storage, and conventional backup provided by the existing diesel generator sets. The photovoltaic array, to be installed on the building's rooftop,

consists of 315 crystalline silicon Hi-MO X10 Scientist modules from LONGi, providing an installed renewable generation capacity of 209.475 kWp. It is estimated that this system will cover approximately 377 MWh of the hospital's annual electrical consumption.



Hospital floor plan with installed panels, own elaboration based on template from (AdityaS, 2018)

Photovoltaic Modules	
Total modules	315
Modules per string	15
Total strings	21
String voltage	677.55 V
String current	14.72 A
Module peak power	665 W
String peak power	9.975 kW
Inverter (X4)	
Input voltage	677.55 V
Nominal power	50 kW
Output voltage	230 V/400 V
Max. efficiency	98.10%
Installed peak power	209.475 kW

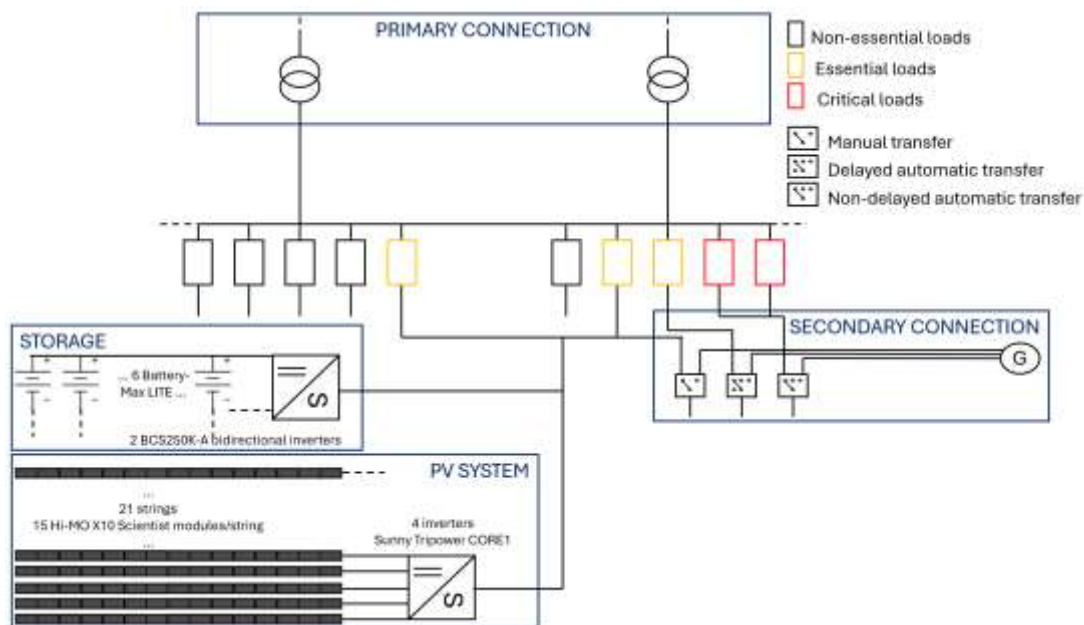
Photovoltaic array configuration and inverter parameters (own elaboration)

The designed storage system consists of a battery bank with six Battery-Max LITE modules, providing a total usable energy capacity of 540 kWh. These modules are connected to two BCS250K-A bidirectional inverters, offering a maximum conversion capacity of 550 kW, which is sufficient to cover the demand of critical and essential loads during transient periods when the conventional diesel generators start up, as well as during very short power interruptions.

Parameter	Defined Value
Annual electrical consumption of the hospital	4 GWh
Hospital peak power demand	900 kW
Installed PV peak power	209.475 kW
Maximum inverter capacity for PV strings	200 kW (50 kW/unit)
Power backed up by batteries (critical & essential loads, 60% of peak demand)	540 kW
Total maximum capacity of bidirectional inverters for storage	550 kW (275 kW/unit)
Target storage autonomy	1 hour

Summary of design parameters: consumption, installed PV capacity, storage and inverters (own elaboration)

All of this will be coordinated by an Energy Management System (EMS), which optimizes system operation to minimize dependence on fossil fuels. The overall architecture is modular, as redundancy has been prioritized to increase operational reliability and to allow for future adaptations in case of increased demand or potential expansions of renewable generation capacity.



Single-line diagram of the existing and proposed infrastructure (own elaboration)

The levelized cost of electricity (LCOE) is estimated at 100 €/MWh, with a payback period of approximately 6.2 years. Despite resulting in a negative Net Present Value (NPV), the project is beneficial and technically feasible, as it ensures energy autonomy for the hospital's critical loads even under high exposure to grid failures. Moreover, it serves as a reference model that can be replicated in other healthcare facilities operating under similar conditions.

Conclusions

The project demonstrates that it is feasible to implement a renewable backup power system capable of covering the demand of critical and essential loads, ensuring their supply during grid failure scenarios. The proposed design consists of photovoltaic generation using **315 monocrystalline silicon modules**, a battery bank providing **540 kWh** of usable energy, and the existing diesel generator sets, all coordinated through an **Energy Management System (EMS)** that optimizes the system's overall operation. The architecture is both modular and scalable, allowing for the future incorporation of new technologies, demand increases, or the replacement of any component in the event of failure. For all these reasons, this design serves as a reference for other facilities with similar characteristics and contributes to strengthening the security and reliability of hospital care.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	11
1.1 Objetivos	13
1.2 Metodología.....	14
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	15
2.1 Generadores de emergencia.....	15
2.2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) y bancos de baterías	16
2.3 Soluciones energéticas renovables	18
2.4 Cogeneración.....	20
2.5 Otras tecnologías	22
Capítulo 3. Caracterización del hospital.....	24
3.1 Caracterización climática	24
3.2 Infraestructura eléctrica	27
3.3 Evaluación de la demanda energética.....	31
Capítulo 4. Diseño del respaldo eléctrico	42
4.1 Sistema fotovoltaico	42
4.2 Almacenamiento con baterías.....	51
Capítulo 5. Viabilidad económica.....	57
5.1 Determinación de la inversión inicial (CAPEX)	57
5.2 Factor de amortización (fa) y coste anualizado (A)	59
5.3 Gastos de operación (OPEX)	60
5.4 Coste normalizado de generación (LCOE).....	61
5.5 Valor actual neto (VAN)	63
5.6 Periodo de retorno (PR).....	64
Capítulo 6. Conclusión.....	66
Bibliografía	69

Índice de figuras

Figura 1. Hospital materno infantil en Tel Aviv (AdityaS, 2018).....	11
Figura 2. Grupo electrógeno (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018).....	15
Figura 3. Esquema UPS convencional (Muhammad Aamir, 2016)	17
Figura 4. Esquema batería ion-litio (Zhangyu Li, 2025).....	17
Figura 5. Diagrama de la microrred de Direct Relief y del área de la red relevante (Lewis, 2020).....	20
Figura 6. Ubicación del hospital (Google, 2025)	24
Figura 7. Posibilidad de cielos despejados en Israel (Weather Spark, 2025).....	26
Figura 8. Velocidad media del viento en Israel a 10m de altura (Weather Spark, 2025)26	
Figura 9. Infraestructura eléctrica existente (elaboración propia).....	28
Figura 10. Correlación entre el consumo anual eléctrico y energía térmica con la superficie útil del hospital (Justo García-Sanz-Calcedo, 2019)	33
Figura 11. Fachada principal del hospital (AdityaS, 2018).....	33
Figura 12. Perfil de carga diario de un hospital (Andreas T. Procopiou, 2019).....	34
Figura 13. Fachada acotada del hospital (AdityaS, 2018).....	37
Figura 14. Puertas del hospital (AdityaS, 2018).....	38
Figura 15. Planta del hospital acotada (AdityaS, 2018)	43
Figura 16. Curva arreglos fotovoltaicos orientación sur con distintos ángulos de inclinación en Tel Aviv (Prof. D. Faiman, 2000).....	43
Figura 17. Criterio de distancia entre hileras (Núñez, 2025).....	44
Figura 18. Configuración paneles fotovoltaicos (Li, 2011).....	45
Figura 19. Módulo fotovoltaico seleccionado (LONGi, 2025)	46
Figura 20. Inversor para cadenas fotovoltaicas seleccionado (SMA, 2025)	47
Figura 21. Curva de rendimiento del inversor en función de la tensión de entrada (SMA, 2025).....	48
Figura 22. Planta del hospital con paneles instalados, elaboración propia a partir de plantilla de (AdityaS, 2018).....	50
Figura 23. Batería seleccionada (BYD Energy Storage, 2025).....	52
Figura 24. Inversor bidireccional para almacenamiento de energía seleccionado (Kehua Tech, 2025).....	53

Figura 25. Esquema unifilar de la infraestructura existente y propuesta (elaboración propia).....	55
Figura 26. tendencia de reducción de LOCE de proyectos FV (IRENA, 2023)	63

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de los parámetros que afectan a la generación eólica y solar fotovoltaica en Tel Aviv (elaboración propia).....	27
Tabla 2. Clasificación por criticidad de las cargas (EATON, 2021).....	29
Tabla 3. Clasificación de los servicios de seguridad para ubicaciones médicas y capacidad mínima del suministro eléctrico (EATON, 2021)	30
Tabla 4. Clasificación de los sistemas de suministro de seguridad según tiempo de conmutación y autonomía mínima (EATON, 2021)	30
Tabla 5. Clasificación de las ubicaciones médicas del hospital según grupo funcional y clase de continuidad del suministro eléctrico (elaboración propia)	31
Tabla 6. Desglose porcentual del consumo (elaboración propia).....	32
Tabla 7. Condiciones de temperatura y humedad relativa (RITE)	35
Tabla 8. Temperatura media en Tel Aviv (Climate Data, 2021).....	35
Tabla 9. Desviación de las condiciones de climatización objetivo meses fríos	36
Tabla 10. Desviación de las condiciones de climatización objetivo meses cálidos	36
Tabla 11. Carga térmica por transmisión (elaboración propia).....	37
Tabla 12. Caudales de aire exterior por persona (RITE).....	38
Tabla 13. Ocupación estimada ubicaciones médicas con IDA recomendado (elaboración propia).....	39
Tabla 14. Caudal del aire exterior calculado ubicaciones médicas (elaboración propia).....	39
Tabla 15. Carga térmica por ventilación (elaboración propia).....	40
Tabla 16. Resultados finales cargas térmicas (elaboración propia).....	40
Tabla 17. Comparativa módulos fotovoltaicos monocristalinos (elaboración propia a partir de las fichas técnicas oficiales)	46
Tabla 18. Comparativa inversores (elaboración propia a partir de las fichas técnicas oficiales)	47
Tabla 19. Características del módulo fotovoltaico (LONGi, 2025)	48
Tabla 20. Configuración de arreglo fotovoltaico y parámetros del inversor (elaboración propia).....	50
Tabla 21. Datos módulo de la batería (BYD Energy Storage, 2025)	53

Tabla 22. Resumen de parámetros de diseño: consumo, potencia instalada FV, almacenamiento e inversores (elaboración propia)	54
Tabla 23. Coste base de emplazamiento (elaboración propia)	57
Tabla 24. Desglose costes indirectos (elaboración propia)	59
Tabla 25. Resumen gastos de operación año 0 (elaboración propia)	61

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en diseñar y desarrollar un sistema energético óptimo para satisfacer la demanda de un hospital materno infantil y de la escuela de enfermería asociada en Tierra Santa. En cualquier sector la energía eléctrica tiene un papel relevante, pero en el hospitalario es especialmente importante disponer de un suministro continuo y fiable ya que la interrupción puede poner en riesgo la vida de los pacientes.



Figura 1. Hospital materno infantil en Tel Aviv (AdityaS, 2018)

El proyecto está ubicado en una zona geopolíticamente compleja. Está situado en Tierra Santa, una región que abarca principalmente Israel, Palestina, Jordania y áreas en Siria y Líbano. El complejo (hospital materno infantil y escuela de enfermería) está en Tel Aviv y depende de la red eléctrica local, que presenta limitaciones en cuanto a estabilidad y seguridad de suministro. La infraestructura nacional está gestionada por Israel Electric Corporation (IEC) y funciona como una “isla eléctrica” sin conexiones internacionales (Israel Electric, 2025), lo que incrementa su vulnerabilidad ante crisis externas, ciberataques o eventos extremos. Por esto, se van a explorar alternativas energéticas eficientes que posibiliten la independencia eléctrica en situaciones de fallos en la red.

Actualmente el complejo tiene generadores diésel, dado que su generación podría llegar a ser insuficiente como respaldo y dependen de combustibles fósiles, se va a analizar otras alternativas de abastecimiento energético. La dependencia actual del complejo en generadores diésel implica vulnerabilidad ante interrupciones de suministro y combustible ya sea por restricciones logísticas, encarecimiento del petróleo o inestabilidad en la cadena de aprovisionamiento.

Se evaluará si se puede optimizar el suministro continuo y fiable. Se dará prioridad a las soluciones renovables siempre que sean viables. El sistema deberá cubrir las necesidades de los sistemas de ventilación, climatización, refrigeración de medicamentos, iluminación, informáticos, seguridad, quirófanos, UCI, incubadoras etc. La demanda energética de este complejo de hospital y escuela se caracteriza por ser constante y tener picos horarios que serán evaluados más adelante.

En el sector hospitalario, la seguridad y continuidad del suministro son fundamentales debido a los motivos que se enumeran a continuación.

- La presencia de equipos médicos como incubadoras, respiradores o unidades de cuidado intensivo, que deben permanecer en funcionamiento continuo para mantener con vida a los pacientes que los necesitan.
- Hay situaciones médicas que no pueden ser pospuestas por fallos en el sistema eléctrico. Por lo que no se deben dar situaciones que imposibiliten a los médicos trabajar en emergencias.
- Los sistemas de seguridad, como la protección contra incendios, deben estar siempre activos. Esto es especialmente importante ya que la densidad de personas en los hospitales es elevada.
- Los equipos de soporte vital y monitoreo deben funcionar continuamente ya que incluso interrupciones de fracciones de segundo pueden resultar en daños o pérdidas de datos médicos.

La relevancia social de la salud materno-infantil es incuestionable ya que tiene un impacto directo en el bienestar de las familias y de las futuras generaciones. En cualquier sistema de salud, es prioritario garantizar un entorno sanitario seguro y de confianza. La calidad de la atención que reciben las mujeres embarazadas, las condiciones en las que tienen

lugar los partos y los cuidados neonatales están muy relacionadas con la tasa de mortalidad infantil (Organización Mundial de la Salud, 2024) y materna (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Todos estos factores hacen que la estabilidad y continuidad de suministro eléctrico sean factores críticos para el funcionamiento del hospital ya que los fallos en el sistema eléctrico en los hospitales repercuten directamente en la salud de los pacientes (Chaamala Klinger, 2014).

Al diseñar y desarrollar un sistema energético óptimo para satisfacer la demanda del hospital materno infantil y de la escuela de enfermería asociada se espera obtener numerosos beneficios:

- Mejora de la seguridad y continuidad del suministro eléctrico, minimizando posibles riesgos.
- Posible replicabilidad en otras instituciones de características similares de la región.
- Si finalmente se adoptan tecnologías renovables por ser más eficientes y económicas, contribución a la sostenibilidad y a la reducción de la huella de carbono.

Este proyecto propone un diseño escalable y replicable que puede adaptarse a otros centros sanitarios con características similares favoreciendo el desarrollo de infraestructuras eléctricas en contextos vulnerables.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un plan energético integral de respaldo basado preferiblemente en fuentes renovables, para asegurar la cobertura en caso de insuficiencia de abastecimiento de potencia eléctrica por parte de la red de un hospital materno-infantil y de la escuela de enfermería asociada en Tierra Santa.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar las características de localización, clima e infraestructura del complejo.

- Estudiar la demanda energética del complejo y las posibles limitaciones.
- Comparar posibles sistemas de respaldo (generadores de emergencia, sistemas de alimentación ininterrumpida con almacenamiento, microrredes, etc.) para elegir la solución más apropiada.
- Analizar la viabilidad económica y ambiental de la solución propuesta.
- Documentar los resultados para su posible aplicación en otros centros.

El proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015) de Salud y Bienestar (3) e Industria, Innovación e Infraestructura (9), ya que tiene como objetivo principal asegurar un suministro energético estable para el buen funcionamiento de un servicio de salud e implica innovaciones en infraestructura y tecnologías energéticas.

1.2 METODOLOGÍA

La realización del proyecto se estructurará en los siguientes apartados:

- Revisión del estado del arte: estudio bibliográfico sobre soluciones energéticas en hospitales.
- Análisis del complejo: caracterización de las condiciones climáticas, ubicación e infraestructura. Evaluación de la demanda energética y estudio de los patrones de consumo.
- Diseño: se plantearán soluciones energéticas y se evaluará su viabilidad técnica y económica.
- Conclusión y futuros desarrollos: documentación de resultados y planteamiento de futuras mejoras y aplicaciones.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Las causas principales que pueden provocar insuficiencia de suministro de potencia al complejo son la sobrecarga de la red, fallos en subestaciones, déficit en centrales eléctricas o fenómenos naturales. El respaldo de generación eléctrica es imprescindible para minimizar riesgos en procedimientos médicos y para proteger equipos sensibles a interrupciones en el suministro eléctrico como pueden ser los sistemas de seguridad o las incubadoras. Actualmente, para garantizar la continuidad y calidad del suministro, las soluciones que hay implantadas en hospitales y clínicas son generadores de emergencia, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) con bancos de baterías, microrredes con generación renovable y cogeneración.

2.1 GENERADORES DE EMERGENCIA

Una de las soluciones más comunes para brindar continuidad de suministro eléctrico en periodos de insuficiencia prolongados son los generadores de emergencia. Normalmente utilizan como combustible diésel o gas natural y se activan automáticamente después de la interrupción de suministro por parte de la red. Estos grupos electrógenos son capaces de proveer energía durante un periodo largo, por lo que aseguran el funcionamiento continuo de las unidades de cuidados intensivos, quirófanos, etc. (Energy Power, 2024).

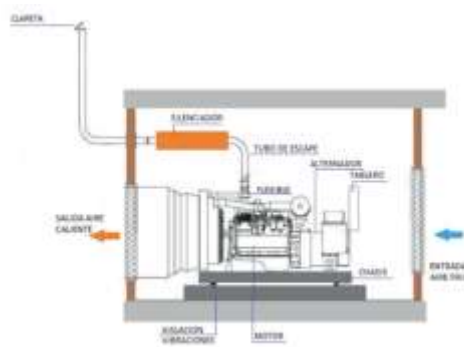


Figura 2. Grupo electrógeno (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018)

Los generadores de emergencia operan en modo de espera y arrancan cuando falla la red. Están acoplados a interruptores de transferencia automática que conmutan la alimentación del hospital de la red al generador sin necesidad de intervención de personal. En grandes

hospitales se suele tener instalados varios generadores en paralelo para asegurar que si falla uno haya otro disponible y para poder distribuir la carga. Esto aumenta la fiabilidad del sistema y facilita el mantenimiento. Un generador puede estar fuera de servicio sin comprometer la seguridad energética ya que el resto de los generadores sería capaz de cubrir la demanda (Davoudi, 2015).

El principal inconveniente de los generadores es que resulta desafiante reabastecer diésel en situaciones de desastre o aislamiento. Y estos equipos necesitan pruebas periódicas y mantenimiento continuo (cambios de aceite, filtros, baterías de arranque...).

Los generadores de emergencia han sido probados y son altamente fiables por lo que se mantienen como la principal solución al respaldo eléctrico hospitalario (Jenket, 2020).

2.2 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (UPS) Y BANCOS DE BATERÍAS

Los sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), son capaces de proporcionar energía sin retardo cuando se da un corte o variación significativa de tensión en la red. Muchos equipos médicos incorporan UPS o baterías internas. Su función es proveer energía eléctrica a los equipos hasta que entran en servicio los generadores de emergencia o el sistema de respaldo a largo plazo que haya en el hospital.

Brindan protección a los equipos sensibles frente a cortes breves del suministro eléctrico. Y están diseñados para suministrar energía de respaldo de forma inmediata para así evitar daños y pérdidas de datos en dispositivos de diagnóstico y de monitoreo de pacientes. Además, filtran y estabilizan la energía evitando que picos, variaciones de frecuencia u otras perturbaciones afecten a los aparatos electrónicos médicos.

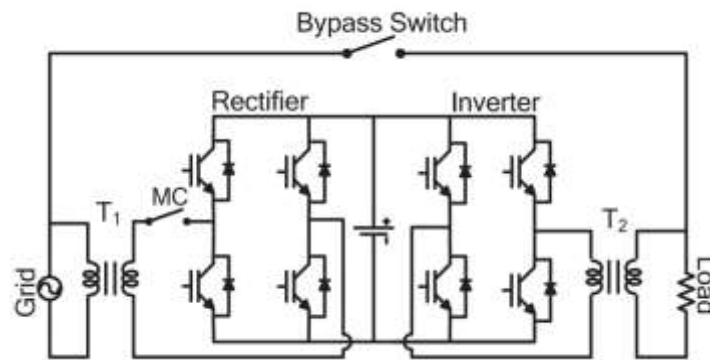


Figura 3. Esquema UPS convencional (Muhammad Aamir, 2016)

Los UPS se instalan estratégicamente de forma organizada para garantizar que los equipos de soporte vital, como el equipamiento de UCI, quirófanos, monitores etc. no sufran interrupciones. Deben ser complementados por generadores de emergencia u otras soluciones dado que su autonomía es limitada (dc group, 2023).

Algunos hospitales implementan bancos de baterías de mayor capacidad para extender la autonomía de respaldo sin combustible. Estas baterías pueden actuar en conjunto con los generadores durante el arranque, en situaciones en las que no merezca la pena encender el generador o incluso para apoyar a los generadores en picos de carga. El uso de estas baterías históricamente ha sido a través de los UPS ya que el coste y espacio que ocupan son elevados. Cada vez es más viable dimensionarlas por la reducción de costes de baterías ion-litio, por lo que a menudo también forman parte de las soluciones híbridas.

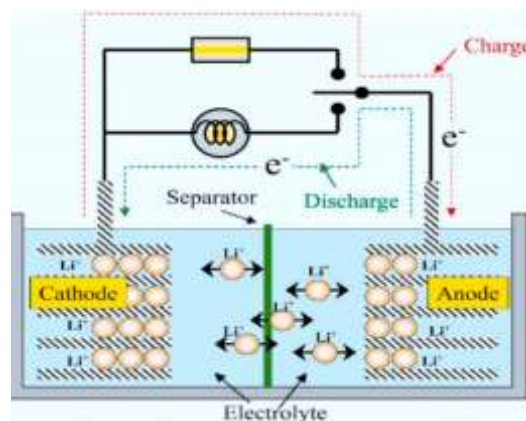


Figura 4. Esquema batería ion-litio (Zhangyu Li, 2025)

El uso de las baterías de ion-litio en hospitales mejora la resiliencia energética y reduce los costes operativos. Esto se debe a que además de poder formar parte del sistema de

respaldo en casos de fallo de la red, pueden participar en el mercado de servicios auxiliares como reguladores de frecuencia, voltaje o como reserva para suplir demanda adicional (Motasem Bani Mustafa, 2021).

2.3 SOLUCIONES ENERGÉTICAS RENOVABLES

En los últimos años, han surgido soluciones energéticas que permiten combinar fuentes renovables con sistemas de almacenamiento y fuentes convencionales, lo que permite que se optimicen los recursos disponibles y disminuya la dependencia de combustibles fósiles. Estas soluciones son muy flexibles ya que pueden funcionar de manera aislada o conectadas a la red. Una de las alternativas que más destaca son las microrredes locales que utilizan energías renovables.

Las microrredes son redes eléctricas locales que tienen sus propias fuentes de generación. Esto les hace capaces de operar de forma autónoma en caso de que sea necesario desconectarse de la red principal. Las fuentes de generación pueden ser generadores convencionales o fuentes de energía renovables como paneles solares o turbinas eólicas. En general se complementan con unidades de almacenamiento de energía. Las microrredes están gestionadas por un sistema de control inteligente.

La incorporación de energías renovables en el *mix* eléctrico hospitalario reduce la dependencia de combustibles fósiles de la red o de los generadores de la microrred por lo que a largo plazo se reducen los costes. Normalmente, se utiliza energía solar fotovoltaica o eólica, aunque también hay casos en los que se ha utilizado como combustible la biomasa o biogás.

La energía solar fotovoltaica es especialmente atractiva en climas soleados con abundante luz solar. En condiciones óptimas, puede cubrir una parte significativa del consumo del hospital o incluso cargar baterías para su uso en otro momento. Además de requerir un mantenimiento poco frecuente y de tener bajos costes de operación, es altamente escalable. Por otro lado, presenta algunos desafíos como la intermitencia, ya que se genera solo en horas diurnas con clima favorable. Un ejemplo de aplicación de energía solar fotovoltaica en infraestructuras hospitalarias se está desarrollando en la Franja de Gaza, donde se han impulsado proyectos solares en Beit Hanoun, Al-Aqsa, Najjar y Emirati RC

Maternity hospital laboratory para alimentar laboratorios y equipos vitales y así hacer frente a los cortes de electricidad (United Nations Development Programme, 2024).

La energía eólica, producida por turbinas eólicas, es otra fuente de bajo coste operativo una vez instalada y un buen complemento para la solar fotovoltaica ya que los patrones de viento pueden complementar a las horas con condiciones favorables para la solar. Sin embargo, también es intermitente y dependiente del clima además de necesitar un espacio significativo, no siempre disponible en hospitales, especialmente en zonas urbanas.

Cuando las microrredes funcionan conectadas a la red pública, intercambian energía comprando o vendiendo en función de la demanda. En caso de fallo externo, se aíslan para alimentar al hospital ofreciendo resiliencia y flexibilidad superiores a los generadores convencionales ya que permiten el uso de múltiples fuentes de forma optimizada según el coste y la disponibilidad (Enel, 2025).

El Valley Children's Hospital en California, EE.UU. es un caso pionero que combina paneles solares, celdas de combustible y baterías. Su microrred garantizará atención ininterrumpida incluso en apagones a partir de 2025. Además, tendrá numerosos beneficios ambientales (Valley Children's Healthcare, 2024). Al estar situado en Madera, California, una zona propensa a incendios forestales e interrupciones en la red eléctrica, depender de un transformador deteriorado y de generadores diésel como respaldo no era sostenible. Por eso, este hospital de más de 350 camas vio la oportunidad de instalar una microrred autónoma para hacer poder atender ininterrumpidamente a sus pacientes. Se espera que la microrred cubra el 80% de la demanda y ahorre aproximadamente 15 millones de dólares americanos en 25 años (U.S. Department of Energy: Better Buildings, 2025).

Otro ejemplo de microrred que combina paneles solares con baterías es el Hospital del Niño, en San Juan, Puerto Rico. El huracán María en 2017 llevó a la caída de la red eléctrica. A pesar de esto, el hospital pudo continuar con su funcionamiento normal en pocas semanas gracias a tener autonomía eléctrica total (Chappell, 2017).

La organización humanitaria Direct Relief también ha optado por instalar una microrred en su complejo en Santa Bárbara, California, dedicado a la distribución de suministros médicos esenciales. La microrred tiene 320 kW instalados de solar fotovoltaica además

de almacenamiento gracias a la capacidad de 676 kWh de baterías de ion-litio. Como respaldo, dispone de un generador diésel de 600 kW que puede cargar la batería o cubrir la demanda en último caso. El generador solo se pondrá en marcha cuando sea estrictamente necesario ya que su propósito es dotar de autonomía al complejo en situaciones catastróficas o apagones de larga duración y para ello debe disponer de combustible. Esta microrred es un ejemplo de abastecimiento energético en un clima cálido y en una zona propensa a las interrupciones eléctricas ya que tiene capacidad de abastecimiento suficiente como para funcionar de manera independiente a la red eléctrica en situaciones de emergencia (Lewis, 2020).

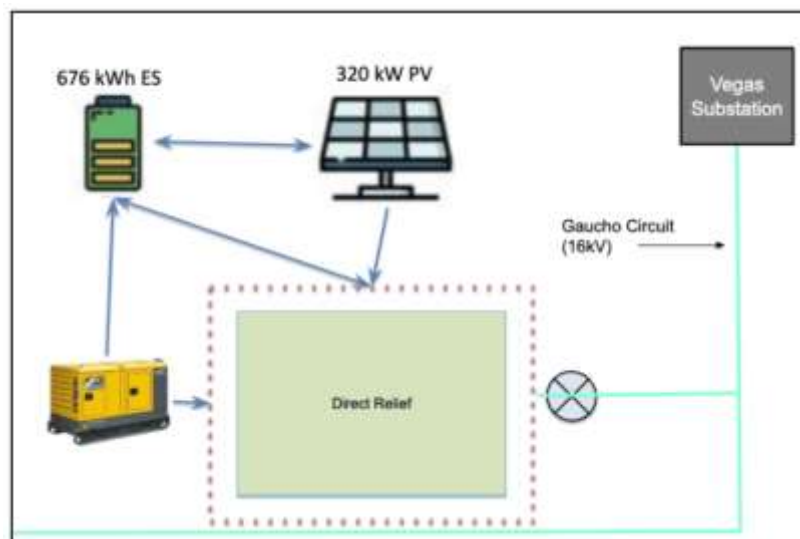


Figura 5. Diagrama de la microrred de Direct Relief y del área de la red relevante (Lewis, 2020)

Las microrredes con fuentes renovables son cada vez más frecuentes gracias a que las tecnologías de generación solar o eólica y el almacenamiento en baterías es cada vez más barato. Además, se adaptan mejor a todo tipo de situaciones ya que suelen tener múltiples vías de suministro y presentan otras ventajas como potenciales ahorros económicos y sostenibilidad ambiental (Annabelle Pratt, 2022). Sin embargo, requieren una inversión inicial elevada debido al coste de la instalación e infraestructura.

2.4 COGENERACIÓN

La cogeneración (Sistemas CHP, Combined Heat and Power) permite que la institución produzca su propia electricidad aprovechando el calor residual del proceso para

necesidades térmicas como el agua caliente o climatización. Es una solución factible para hospitales ya que operan continuamente tanto con demandas eléctricas como demandas térmicas.

Al generar electricidad en una planta lejos del consumo o con un generador de respaldo, se pierde energía del combustible en forma de calor disipado al ambiente. La cogeneración recupera esa energía térmica y permite que se aproveche.

Algunos hospitales han instalado motores alternativos de gas natural o turbinas de gas que queman gas natural u otro combustible y que tienen los sistemas de escape y refrigeración conectados a intercambiadores en el propio hospital. De esta forma, producen agua caliente y vapor para el consumo del hospital y reducir la cantidad comprada. En 2009, el Hospital New York – Presbyterian en Nueva York, EE.UU., instaló una turbina de gas acoplada a calderas con capacidad para alimentar toda la carga base del hospital y reducir la demanda pico de red (U.S. Department of Energy, 2011).

Por otro lado, algunos hospitales, especialmente en zonas rurales, apuestan por la biomasa como combustible en la cogeneración térmica y eléctrica para disminuir su consumo de gas o gasóleo. Por ejemplo, el Hospital Gunderse, en Wisconsin, EE.UU., instaló una caldera de biomasa con turbina de vapor (Gundersen Lutheran Medical Center, Inc, 2013).

Otro ejemplo es el St.Joseph's Hospital Health Center, de 431 camas en Syracuse, Nueva York, que opera una planta CHP desde 2015 con una turbina de gas natural de 4,6MW, un generador de vapor de recuperación de calor de 45.000 pph y un compresor de 225 psig. La instalación de cogeneración permite que el hospital cubra sus necesidades eléctricas y térmicas sin depender de la red eléctrica durante los cortes de energía. El sistema está equipado con un sistema automático de corte de carga que desconecta automáticamente los equipos no esenciales en caso de fallos en la red eléctrica para asegurar su autonomía (Terpak, 2020).

Entre los aspectos positivos de los sistemas CHP destaca la eficiencia y la resistencia a fallos. Sin embargo, implican instalar una planta de cogeneración, con los costes asociados, tener el perfil de carga adecuado para ser rentables y un suministro de combustible confiable.

2.5 OTRAS TECNOLOGÍAS

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que generan electricidad a partir de hidrógeno o gas natural emitiendo cantidades muy reducidas de contaminantes o agua. Pueden operar como micro generadores con poca necesidad de mantenimiento, lo que permite que se puedan utilizar como complemento a los generadores diésel para reducir la carga de estos. El principal inconveniente de esta tecnología emergente es su elevado coste y el suministro de combustible en caso de que este sea hidrógeno.

El hospital St.Francis en Hartford, Connecticut, instaló una celda de combustible de 400kW en 2012 para poder alimentar a equipos críticos, después de que, en varias tormentas como *Sandy* en 2011, los generadores diésel de emergencia fallaran catastróficamente. Este proyecto, junto con cuatro más en hospitales de Connecticut, fue un éxito ya que no solo redujo las emisiones al no haber combustión en la obtención de energía eléctrica, sino que también hizo que el sistema de respaldo del hospital sea más robusto (Clean Energy Group, 2015).

Además de las baterías ion-litio, se están desarrollando sistemas de almacenamiento avanzado como baterías de flujo de bromuro de zinc para aplicaciones de respaldo. Estas baterías tienen menos riesgo de incendio que las baterías de litio, por lo que son apropiadas para zonas con climas cálidos. En el hospital pediátrico de Central Valley ya se están instalando (Walton, 2023). También se está estudiando la posibilidad de producir hidrógeno electrolítico con excedentes de plantas renovables para usar en las celdas de combustible cuando se requiera.

Las estrategias de redes inteligentes y de gestión de la demanda son fundamentales para optimizar el uso de las tecnologías mencionadas de generación y almacenamiento. Son sistemas de control que priorizan cargas, reduciendo o apagando sistemas no esenciales para ahorrar energía y asegurar que los sistemas de respaldo puedan funcionar en caso de ser necesarios o que desplazan consumos en horarios en los que la demanda total del complejo sea menor (Israth Jahan Chowdhury, 2024). El análisis de datos y uso de estos

para construir algoritmos de predicción optimiza la carga de baterías, el uso y arranque de generadores incluso cuándo reponer combustible (Adib Ahmed, 2025).

Capítulo 3. CARACTERIZACIÓN DEL HOSPITAL

El diseño de una solución de respaldo energético requiere un análisis detallado del complejo. Para ello es imprescindible caracterizar las condiciones climáticas, evaluar la infraestructura eléctrica existente, cuantificar la demanda energética y la carga térmica y estudiar los patrones de consumo. Estos factores determinarán la viabilidad técnica de las posibles soluciones de respaldo y su adecuación a las necesidades reales del centro sanitario. El presente capítulo recoge dicho análisis sirviendo de base para la posterior formulación de soluciones específicas.

3.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El hospital está centrado en la región central de Israel. El clima en la zona de Tel-Aviv es mediterráneo, los veranos son cálidos y secos y los inviernos templados y húmedos (WorldData, 2025).



Figura 6. Ubicación del hospital (Google, 2025)

La temperatura media mensual oscila entre los 13°C en los meses más fríos como enero, hasta los 27°C en los meses más cálidos como agosto y las precipitaciones están concentradas principalmente entre noviembre y marzo (Climate Data, 2021).

La eficiencia de los sistemas fotovoltaicos depende directamente de la irradiancia y de la temperatura de operación. La eficiencia crece con la irradiancia, alcanzando la eficiencia nominal entre los 800-1000 W/m² y disminuye con temperaturas elevadas (Adnan Al-Bashir, 2019).

En la región central de Israel, los niveles de irradiación global horizontal (GHI) son suficientemente elevados como para garantizar un funcionamiento eficiente de módulos fotovoltaicos ya que el promedio varía entre los 9,4 MJ/m² al día en invierno hasta los 25,5 MJ/m² en verano (Safaa Hamada, 2021). Esto es equivalente a 108,8 W/m² y 295,1 W/m² respectivamente. La media anual de GHI en 2022, fue de 5,5-6,2 kWh/m²/día, en otras unidades 229,2-258,3 W/m² (aenert, 2025). El umbral mínimo para la operación útil de los paneles solares está situado entre 50 y 70 W/m² (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2022), por lo que tanto en invierno como verano se podría estar generando energía de forma continua durante las horas de sol.

Otro de los indicadores clave para evaluar el potencial de generación fotovoltaica es la probabilidad de cielos despejados. La presencia de nubes puede reducir la generación en un 23,80% con presencia de cobertura ligera y hasta 66,75% con cobertura nubosa densa (J. A. Amusan, 2023). Como puede verse en la figura 7, los cielos suelen estar despejados en la zona por lo que la cobertura de nubes no sería una restricción si se instalasen paneles.

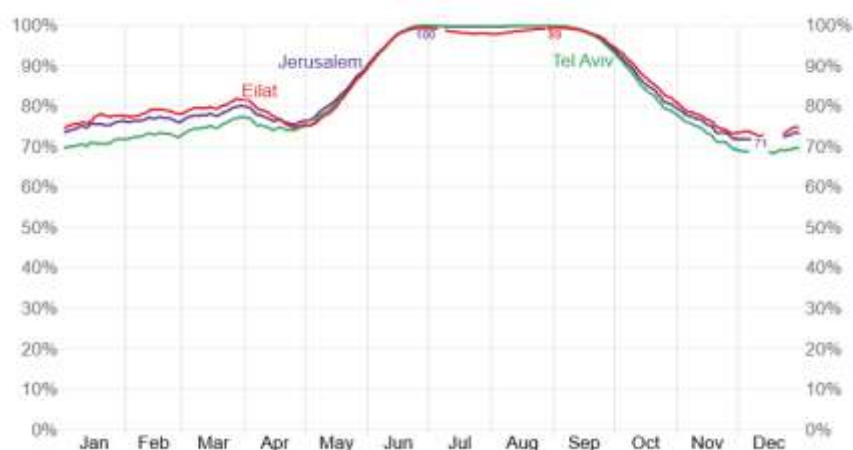


Figura 7. Posibilidad de cielos despejados en Israel (Weather Spark, 2025)

La velocidad del viento es moderada. La media mensual en la costa central, zona de Tel-Aviv, la velocidad media suele estar entre 3,5m/s y 4,0m/s en los meses de más viento, en invierno, y ligeramente más baja en verano, que oscila entre los 3,0m/s y 3,5m/s. En invierno los vientos son más fuertes debido a las borrascas del Mediterráneo (Weather Spark, 2025). El recurso eólico es moderado, inferior al rango óptimo para una viabilidad económica y técnica de aerogeneradores ya que, en los meses de más viento, la velocidad está justo en el límite inferior de posibilidad de generación, entre los 3-4m/s (Montel, 2025).



Figura 8. Velocidad media del viento en Israel a 10m de altura (Weather Spark, 2025)

En la tabla 1 se resumen los valores climáticos mensuales relevantes para valorar la implementación de generación solar fotovoltaica y eólica, típicos de la región de Tel Aviv.

Época	Temperatura media	Irradiación media diaria	Probabilidad de cielos despejados	Velocidad viento
Invierno	13°C	108,8 W/m ²	80%	3,5-4,0 m/s
Verano	27°C	295,1 W/m ²	100%	3,0-3,5 m/s
Evaluación parámetro	A mayor temperatura, menor eficiencia	50-70 W/m ² Umbral mínimo de operación útil	La eficiencia disminuye con presencia de nubes	3-4 m/s Límite inferior de generación
Tecnología a la que afecta	Placas fotovoltaicas			Aerogeneradores

Tabla 1. Resumen de los parámetros que afectan a la generación eólica y solar fotovoltaica en Tel Aviv (elaboración propia)

Como se puede ver en la tabla 1, los valores veraniegos de irradiación solar son aproximadamente el doble que los invernales, por lo que hay una marcada estacionalidad. Sin embargo, incluso en los meses de invierno (diciembre, enero), se logran valores considerables para sistemas solares.

Por otro lado, tras analizar las temperaturas medias mensuales, se puede esperar necesidades moderadas de calefacción en los meses de invierno y más elevadas de refrigeración en verano.

3.2 INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

La infraestructura eléctrica del hospital materno-infantil está dividida en dos partes: la alimentación primaria y la alimentación secundaria, que se pone en marcha ante cualquier fallo en la primaria. Esta separación garantiza la continuidad de suministro cumpliendo con los criterios establecidos por la norma IEC 60364-7-710, que exige una clasificación de las zonas médicas.

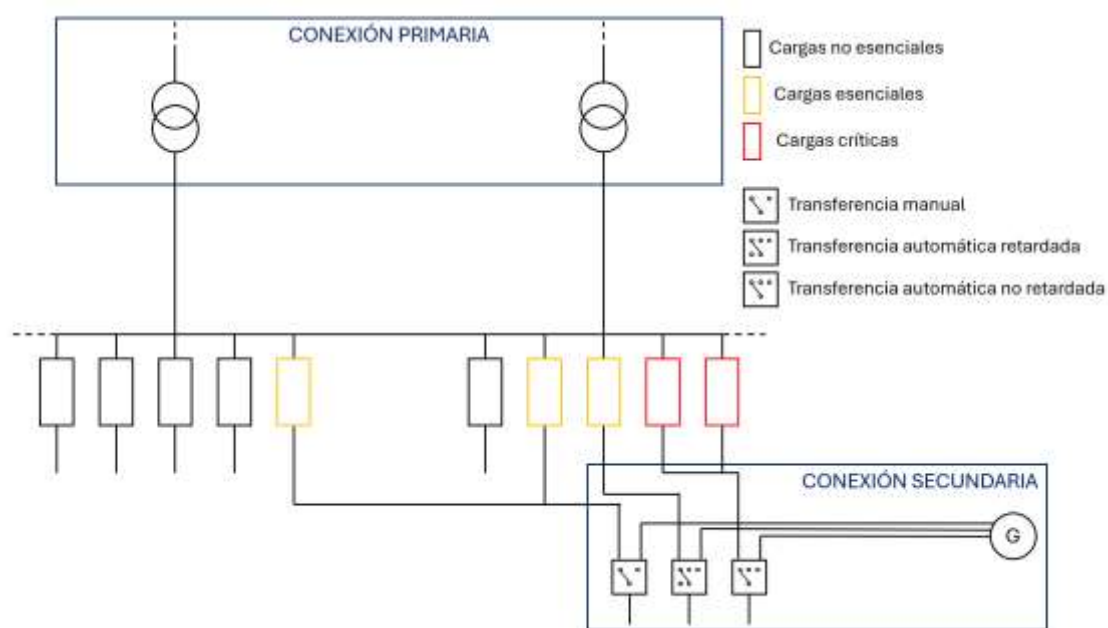


Figura 9. Infraestructura eléctrica existente (elaboración propia)

3.2.1. Alimentación primaria

La alimentación primaria de toda la instalación es a través de la conexión a red pública. La conexión es a través de doble acometida de media tensión con líneas con una capacidad de suministro redundante, con capacidad de soportar una carga un 20% mayor de la demanda estimada para garantizar la disponibilidad (Guyer, 2010).

El hospital cuenta con transformadores internos que convierten la media tensión, de 22kV, a baja tensión, 400V, para su distribución interna (Pabla, 2011). Los cuadros de distribución están diseñados con seccionamiento por criticidad de las cargas (críticas, esenciales y no esenciales) conforme a la normativa NFPA 99, lo que permite que, ante fallos, las cargas vitales como la UCI neonatal, quirófanos, incubadoras tengan prioridad de suministro.

Clasificación	Cargas
Cargas críticas	Sistemas de soporte vital como incubadoras, respiradores y quirófanos.
Cargas esenciales	Climatización quirúrgica, iluminación técnica, sistemas de esterilización, bombas de agua, etc.
Cargas no esenciales	Iluminación general, climatización en zonas comunes, enchufes auxiliares, etc.

Tabla 2. Clasificación por criticidad de las cargas (EATON, 2021)

Este sistema asegura que las cargas críticas y esenciales mantengan en suministro de forma prioritaria en caso de fallo parcial o interrupción.

3.2.2. Alimentación secundaria

Ante cualquier tipo de fallo en la red pública, la instalación dispone de un sistema de respaldo basado en grupos electrógenos diésel de emergencia. Reestablecen la alimentación en menos de 10 segundos tras un corte, como establece la normativa 110 NFPA (Woodstock Power Company, 2025). Y están dimensionados para soportar al menos las cargas críticas y esenciales simultáneamente. El hospital tiene depósitos de diésel llenos para poder operar varios días de forma independiente sin reabastecimiento. Para las cargas críticas sensibles, el hospital cuenta con UPS que entregan energía inmediatamente hasta que entran los generadores diésel. Estos pueden mantener equipos pesados funcionando hasta 20 minutos y sistemas ligeros, como ordenadores y sistemas de comunicaciones, durante horas (Ghert-Zand, 2024).

En función del grado de riesgo de los pacientes en caso de fallo de la alimentación primaria, se clasifican las ubicaciones médicas como muestra la tabla 3.

Clasificación	Definición	Ejemplos de ubicación médica
Grupo 0	Ubicación médica donde no se pretende utilizar partes aplicadas y donde la discontinuidad (falla) del suministro no puede causar peligro para la vida.	Salas de espera, salas de masajes. El equipo médico eléctrico (ME) se alimenta de la red eléctrica pública.
Grupo 1	Ubicación médica donde la discontinuidad del suministro eléctrico no representa una amenaza para la seguridad del paciente y las partes aplicadas están destinadas a ser utilizadas de la siguiente manera: • Externamente • Invasivamente en cualquier parte del cuerpo, excepto cuando se aplique la condición del grupo 2	Habitaciones de pacientes, salas para endoscopia, fisioterapia, hidroterapia, odontología, diálisis, resonancia magnética (RM), medicina nuclear, etc.
Grupo 2	Ubicación médica donde se pretende usar partes aplicadas en aplicaciones como procedimientos intracardíacos o tratamientos vitales y operaciones quirúrgicas, donde la discontinuidad (falla) del suministro puede causar peligro para la vida.	Salas de operaciones, unidades de cuidados intensivos, etc.

Tabla 3. Clasificación de los servicios de seguridad para ubicaciones médicas y capacidad mínima del suministro eléctrico (EATON, 2021)¹

En función del tiempo de conmutación necesario hacia una fuente de energía y la autonomía mínima en caso de fallo en la red, los servicios de seguridad eléctrica para ubicaciones médicas se clasifican según la tabla 4.

Clase del sistema	Tiempo de conmutación de suministro	Autonomía mínima del suministro de seguridad	Ejemplos de equipos alimentados por el sistema de seguridad
Clase 0,5	Corte breve $\leq 0,5$ s	3 h *Puede reducirse a 1h si también dispone de clase 15	Luminarias de mesas de operaciones, equipos médicos esenciales con fuente de luz o de soporte vital etc.
Clase 15	Corte medio ≤ 15 s	24 h Deben recibir al menos el 50% de su potencia nominal durante 2h *Puede reducirse a 3h si la evacuación puede completarse en ese tiempo	Iluminación mínima en zonas comunes, salas técnicas y zonas de evacuación, controles de emergencia, equipos esenciales en ubicaciones del grupo 2 que no requieren clase 0,5.
Clase >15	Corte largo > 15 s	24 h Puede conectarse manual o automáticamente a una fuente de seguridad	Servicios que no requieren cambio inmediato pero que deben permanecer activos como esterilizadores, climatización, refrigeración.

Tabla 4. Clasificación de los sistemas de suministro de seguridad según tiempo de conmutación y autonomía mínima (EATON, 2021)

A partir de la combinación de los dos criterios anteriores, se han clasificado las ubicaciones médicas del hospital, asignando a cada una su grupo funcional y su clase mínima de continuidad. Esta asignación se resume en la tabla 5.

¹ Las partes aplicadas son aquellos componentes de trabajo médico que están destinados a entrar en contacto directo con el paciente durante su uso normal contacto externo (sobre la piel) o dentro del cuerpo ya sea en cavidades naturales o insertadas invasivamente (Medical Device Academy, 2013).

Ubicación médica	Grupo			Clase	
	0	1	2	0,5	≤15
Administración y admisión	X				X
Área de esterilización		X		X*	X
Área de urgencias pediátricas			X	X*	X
Consultas externas pediátricas y ginecológicas		X			X
Farmacia interna	X				X
Laboratorio de análisis clínicos		X			X
Quirófanos			X	X*	
Sala de ecografías		X			X
Sala de monitores fetales		X		X*	X
Sala de rayos X y diagnóstico por imagen		X			X
Salas de espera	X				
Salas de lactancia	X				
Salas de observación pediátrica		X			X
Salas de partos			X	X*	
Salas de procedimientos		X		X*	X
Unidad de cuidados intensivos neonatales			X	X*	
Unidad de hospitalización pediátrica		X			X
Unidad de reanimación postparto			X	X*	

Tabla 5. Clasificación de las ubicaciones médicas del hospital según grupo funcional y clase de continuidad del suministro eléctrico (elaboración propia)

3.3 EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

La demanda energética del hospital se caracteriza por tener un perfil bastante constante debido al funcionamiento continuo de la iluminación, climatización, equipamiento médico, sistemas de esterilización, cocinas, lavandería, bombeo de agua entre otros. A continuación, se evalúa la demanda desglosándola por tipo de consumo, los indicadores por cama y superficie y totales estimados. Además, se analiza los patrones de consumo diarios y estacionales.

3.3.1. Desglose por tipo de consumo

Los hospitales son instalaciones con un alto consumo energético durante todo el día. La mayor parte de la energía se destina a climatización y al mantenimiento de las condiciones ambientales, seguida de la iluminación y funcionamiento de equipos.

En hospitales de clima mediterráneo, se estima que entre 61% y el 79% del consumo total está destinado a los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, producción de agua caliente e iluminación. El resto del consumo se debe al uso de equipos médicos, cocinas, lavandería y otros servicios auxiliares (ETKHO Hospital Engineering, 2021).

En el contexto específico de un hospital materno-infantil en Israel, se puede esperar un perfil de consumo con especial énfasis en la climatización por los requisitos de confort en maternidad y pediatría, así como en zonas neonatales. Un posible desglose porcentual promedio, basado en el consumo de otros hospitales (Khaled Bawaneh, 2019) (Brainbox AI, a Trane Technologies Company , 2025) se muestra en la tabla 6.

Consumo	%	Uso
Climatización	55	Calefacción/aire acondicionado, refrigeración, ventilación y renovación del aire en quirófanos UCI.
Iluminación	10	Iluminación en salas de pacientes, quirófanos, pasillos y áreas comunes.
Equipamiento médico	15	Equipos de diagnóstico por imagen, monitores, incubadoras, ventiladores, equipos de laboratorio, etc.
Cocina y servicios de alimentación	8	Cocción, hornos, refrigeradores y congeladores industriales.
Lavandería y esterilización	7	Máquinas de lavandería industrial, secadoras etc.
Otros sistemas auxiliares	5	Ascensores, bombas de agua, sistemas de telecomunicaciones, equipos menores etc.

Tabla 6. Desglose porcentual del consumo (elaboración propia)

3.3.2. Indicadores de consumo eléctrico y demanda total estimada

Una métrica útil para dimensionar la demanda hospitalaria es el consumo energético por cama. En países desarrollados se ha estimado que el consumo anual de cada cama, incluyendo tanto electricidad como combustibles térmicos, está en torno a los 29-30 MWh (Mathur, 2024) con variaciones según clima y nivel tecnológico. Lo que equivale a una media de 80 kWh por cama al día. Para validar, cabe mencionar un caso de estudio en el que un hospital mediano registró 25 MWh/año · cama (Norouz Mahmoudi, 2024), consistente con lo anterior.

Otra métrica utilizada para estimaciones de consumo en hospitales, con aún más relevancia dado que la correlación entre las variables que se tienen en cuenta es más significativa, es el consumo por unidad de superficie útil.

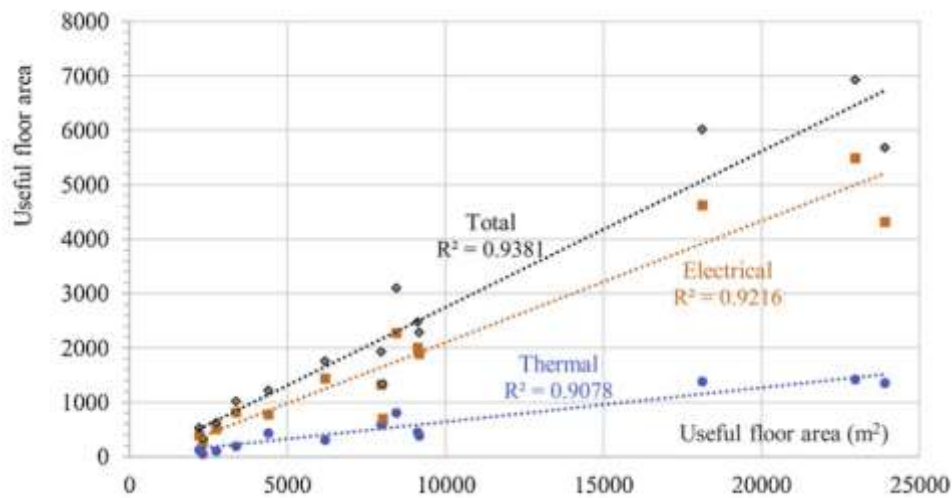


Figura 10. Correlación entre el consumo anual eléctrico y energía térmica con la superficie útil del hospital (Justo García-Sanz-Calcedo, 2019)

El complejo de hospital y escuela de enfermería tiene 11 plantas iguales de 1.728m², por lo que la superficie total es de 19.008m².



Figura 11. Fachada principal del hospital (AdityaS, 2018)

Teniendo en cuenta la cantidad de camas y la superficie útil, proyectando un hospital de 200 camas y 19.008m², el consumo de energía eléctrica anual rondaría los 4 GWh y el consumo de energía destinada a climatización sería 1 GWh (Justo García-Sanz-Calcedo, 2019).

Se está asumiendo un valor estimado de 20 MWh/año · cama sin incluir combustibles térmicos. Esta cifra se ha usado como base para estimar la potencia eléctrica media, que resulta 457 kW. Suponiendo un factor de carga 0,5 para reflejar la variabilidad diaria entre

horas valle y punta, la carga máxima prevista, utilizada para dimensionar el sistema de respaldo es de 0,9 MW.

3.3.3. Patrones de consumo eléctrico horario

El hospital funciona continuamente, pero existen variaciones en la carga diariamente. En las horas diarias, se observa picos en la demanda que coinciden con el mayor número de procedimientos médicos, uso intenso de equipos de laboratorio, carga de aire acondicionado, luces encendidas en todas las áreas activas, más personal trabajando, etc. Por la noche, las cirugías programadas paran, hay menor pérdida de calor/frío ya que hay menos movimiento y apertura de puertas y se reduce significativamente la carga de iluminación.

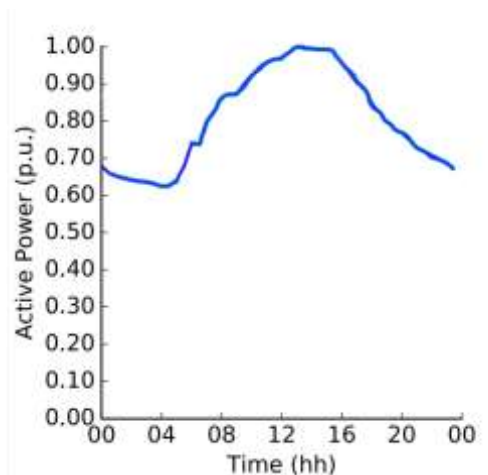


Figura 12. Perfil de carga diario de un hospital (Andreas T. Procopiou, 2019)

3.3.4. Cargas de ventilación y climatización

Estacionalmente la diferencia la marcan las necesidades de climatización. Para poder estimar la carga de los sistemas HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), se va a estimar las cargas térmicas ya que, como se ha visto en el apartado de desglose por tipo de consumo, estas representan el principal componente del consumo energético hospitalario. La carga térmica total se descompone en carga sensible, asociada a la variación de temperatura y carga latente, relacionada con el contenido de humedad del aire. Para determinar las condiciones de diseño de las cargas térmicas del hospital se va a adoptar la fecha más desfavorable y se van a tener en cuenta las cargas debidas a la

transmisión a través de la envolvente y las debidas a la renovación del aire interior ya que son las más significativas.

De acuerdo con el RITE², para asegurar el confort en el interior de un edificio es necesario cumplir con la normativa que regula la humedad relativa, la temperatura y la calidad del aire interior. Según la estación las condiciones deben ser las indicadas en la tabla 7.

	Verano	Invierno
Temperatura de confort	23-25°C	21-23°C
Humedad relativa	45-60%	40-50%

Tabla 7. Condiciones de temperatura y humedad relativa (RITE)

Teniendo en cuenta las condiciones establecidas por el RITE, la calefacción funcionará los meses en los que la temperatura media no alcance el mínimo de la estación correspondiente y el sistema de refrigeración estará en marcha cuando la temperatura media supere el límite superior.

La tabla 8 recoge los datos de temperatura media por mes en Tel Aviv. Los meses sombreados en rojo: enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre son aquellos en los que será necesario encender la calefacción. Y en los meses sombreados en azul: junio, julio, agosto y septiembre, operará el sistema de refrigeración.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Temperatura media °C	13,1	13,8	16,1	18,8	22,1	24,6
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media °C	26,5	27	25,8	23,3	19,3	15,1

Tabla 8. Temperatura media en Tel Aviv (Climate Data, 2021)

Las siguientes tablas muestran la diferencia entre las medias de temperatura en Tel Aviv del extremo más desfavorable en cada estación (temperatura mínima en invierno y máxima en verano) y la temperatura objetivo, 24°C en verano y 22°C en invierno. Y la desviación de la humedad relativa frente al 50% y 45% requeridos en verano e invierno respectivamente.

² RITE es el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Noviembre	Diciembre
Temperatura mínima	°C	10,1	10,4	12	14	15,7	12,1
Incremento	°C	-11,9	-11,6	-10	-8	-6,3	-9,9
Humedad relativa	%	69	67	62	59	60	66
Incremento HR	%	24	22	17	14	15	21

Tabla 9. Desviación de las condiciones de climatización objetivo meses fríos

		Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Temperatura máxima	°C	29,1	30,7	31,2	30,1
Incremento	°C	5,1	6,7	7,2	6,1
Humedad relativa	%	64	68	69	66
Incremento HR	%	14	18	19	16

Tabla 10. Desviación de las condiciones de climatización objetivo meses cálidos

Tal y como se refleja en las tablas, el mes frío y cálido más desfavorable en temperatura y humedad relativa es enero y agosto respectivamente. Por lo tanto, se va a diseñar la climatización dimensionándola para estos meses.

La carga térmica por transmisión se calcula considerando la envolvente térmica del edificio y la diferencia entre la temperatura exterior y la interior en los meses más desfavorables.

La cantidad de calor que pasa a través de los elementos estructurales del edificio que separan el interior del exterior está determinada por el material del que estén hechos. Esta carga térmica por transmisión viene dada por la ecuación [1].

$$Q_{\text{trans}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [1]$$

Donde:

- U es el coeficiente global de transferencia de calor de los elementos de la envolvente ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
- A es la superficie de cada cerramiento (m^2)
- ΔT es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior (K)

El área de la superficie de cada cerramiento se ha calculado a partir del modelo en CAD del edificio.



Figura 13. Fachada acotada del hospital (AdityaS, 2018)

Dado el clima cálido y húmedo de Tel Aviv, es razonable adoptar un coeficiente global de transferencia de calor aproximado de $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para los cerramientos verticales y de $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para la cubierta, de acuerdo con el documento básico HE ahorro de energía (Ministerio de vivienda y agenda urbana, 2022).

La tabla 11 muestra el resultado de calcular la carga térmica por transmisión en invierno y en verano.

	U W/m ² K	A m ²	ΔT invierno K	ΔT verano K	Q _{transmisión} W	Q _{transmisión} W
Paredes	0,5	6.339	11,9	7,2	37.717	22.820
Ventanas	4	947	11,9	7,2	45.077	27.274
Puertas	3,5	42	11,9	7,2	1.749	1.058
Cubierta	0,35	1.567	11,9	7,2	6.527	3.949
					91.070	55.101

Tabla 11. Carga térmica por transmisión (elaboración propia)

Se han despreciado las fugas de calor por las puertas de apertura automática dado que todas las puertas del hospital tienen doble puerta para mejorar la eficiencia energética como se puede ver en la figura 14.



Figura 14. Puertas del hospital (AdityaS, 2018)

La ventilación en hospitales responde a normativas de renovación de aire para evitar contaminaciones cruzadas. La carga de ventilación se calcula a partir del aire exterior que debe acondicionarse conforme a la ecuación [2].

$$Q_{\text{vent}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [2]$$

Donde:

- $\dot{V}$ es el caudal del aire exterior (m^3/s)
- ρ es la densidad del aire ($1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$)
- c_p es el calor específico del aire ($1,0 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$)
- ΔT es el salto térmico (K)

Los caudales de aire exterior por persona y por calidad del aire interior (IDA3) están marcados por el RITE según la tabla 12.

Caudales de aire exterior, en dm^3/s por persona	
Categoría	dm^3/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 12. Caudales de aire exterior por persona (RITE)

³ IDA 1 indica calidad de aire óptima, IDA 2 buena calidad, IDA 3 calidad media e IDA 4 es baja calidad.

Para calcular el caudal de aire exterior $\dot{V}$, se requiere conocer la ocupación prevista de cada ubicación del hospital, la cual se encuentra representada en la tabla 13.

Ubicación médica	Pacientes	Personal	Acompañantes	Ocupación total estimada	IDA recomendado
Administración y admisión	0	10	0	10	IDA 2
Área de esterilización	0	4	0	4	IDA 1
Área de urgencias pediátricas	10	10	5	25	IDA 2
Consultas externas pediátricas y ginecológicas	10	8	4	22	IDA 2
Farmacia interna	0	5	0	5	IDA 2
Laboratorio de análisis clínicos	0	6	0	6	IDA 1
Quirófanos (4)	4	12	0	16	IDA 1
Sala de ecografías	2	2	1	5	IDA 2
Sala de monitores fetales	2	2	1	5	IDA 2
Sala de rayos X y diagnóstico por imagen	2	3	1	6	IDA 2
Salas de espera	20	-	10	30	IDA 2
Salas de lactancia	0	1	2	3	IDA 2
Salas de observación pediátrica	5	4	3	12	IDA 2
Salas de partos (2)	2	4	2	8	IDA 1
Salas de procedimientos	2	2	1	5	IDA 1
Unidad de cuidados intensivos neonatales	6	6	6	18	IDA 1
Unidad de hospitalización pediátrica	70	40	30	140	IDA 2
Unidad de reanimación postparto	4	4	2	10	IDA 1

Tabla 13. Ocupación estimada ubicaciones médicas con IDA recomendado (elaboración propia)

A partir de los datos de ocupación prevista y del IDA recomendado, se ha calculado el caudal de aire exterior.

Ubicación médica	IDA recomendado dm ³ /s por persona	Caudal de aire exterior m ³ /s
Administración y admisión	12,5	0,125
Área de esterilización	20	0,08
Área de urgencias pediátricas	12,5	0,3125
Consultas externas pediátricas y ginecológicas	12,5	0,275
Farmacia interna	12,5	0,0625
Laboratorio de análisis clínicos	20	0,12
Quirófanos (4)	20	0,32
Sala de ecografías	12,5	0,0625
Sala de monitores fetales	12,5	0,0625
Sala de rayos X y diagnóstico por imagen	12,5	0,075
Salas de espera	12,5	0,375
Salas de lactancia	12,5	0,0375
Salas de observación pediátrica	12,5	0,15
Salas de partos (2)	20	0,16
Salas de procedimientos	20	0,1
Unidad de cuidados intensivos neonatales	20	0,36
Unidad de hospitalización pediátrica	12,5	1,75
Unidad de reanimación postparto	20	0,2

Tabla 14. Caudal del aire exterior calculado ubicaciones médicas (elaboración propia)

Finalmente, se ha obtenido la carga de ventilación para invierno y para verano. Los resultados están plasmados en la tabla 15.

densidad del aire kg/m ³	calor específico del aire kJ/kgK	salto térmico ΔT		Q_{vent}	
		invierno K	verano K	invierno kW	verano kW
1,2	1	11,9	7,2	66	40

Tabla 15. Carga térmica por ventilación (elaboración propia)

La determinación de la demanda energética en los meses más desfavorables tanto para la calefacción como para la refrigeración es esencial para dimensionar correctamente el sistema de climatización hospitalario. Con este criterio se asegura que las máximas cargas posibles por transmisión y ventilación están cubiertas con márgenes de seguridad adecuados manteniendo las condiciones de confort establecidas y la calidad del aire exigida.

La tabla 16 muestra los resultados finales de la agregación de cargas térmicas por estaciones. Nótese que en verano solo hay 6 meses ya que como se ha justificado previamente, en mayo y octubre no hace falta refrigerar ya que la temperatura media está dentro del rango aceptable.

	invierno	verano
$Q_{transmisión}$ (kW)	91,1	55,1
Q_{vent} (kW)	66,1	40,0
mes más desfavorable (kW)	157,2	95,1
mes más desfavorable (MWh/mes)	113,1	68,5
cantidad de meses	6,0	4,0
total estación (MWh)	678,9	273,8
TOTAL ANUAL	1,0	GWh

Tabla 16. Resultados finales cargas térmicas (elaboración propia)

Como era de esperar, los resultados resultan coherentes con las hipótesis preliminares realizadas en el apartado de indicadores de consumo eléctrico ya que el consumo de energía para climatización anual es de 1 GWh. Este valor coincide con la demanda total estimada en función del número de camas hospitalarias y de la superficie útil (Justo García-Sanz-Calcedo, 2019). Esta consistencia valida el procedimiento seguido y refuerza la fiabilidad de los datos de partida.

Conclusiones del capítulo

La caracterización detallada de la infraestructura existente y de las cargas eléctricas y térmicas del hospital ha permitido establecer una base sólida para comprender la magnitud y la distribución de cargas por criticidad. También se ha profundizado en las particularidades climáticas que afectan tanto a la generación como al consumo energético. Integrando los parámetros climáticos, la capacidad de generación renovable local y las demandas identificadas gracias a esta caracterización, se desarrolla el diseño de la solución de respaldo en el próximo capítulo.

Capítulo 4. DISEÑO DEL RESPALDO ELÉCTRICO

Para garantizar suministro eléctrico ininterrumpido, reducir la dependencia de combustible y a la vez reducir costes y emisiones, se propone un sistema híbrido fotovoltaico + generador diésel + baterías. Esta solución aprovecha la abundante radiación solar diurna de la región de Tel Aviv y proporciona respaldo confiable gracias al generador diésel en caso de ausencia de red o de sol. En este capítulo, se detalla el dimensionamiento y selección de cada componente y la integración en el esquema eléctrico.

4.1 *SISTEMA FOTOVOLTAICO*

Como se ha visto en el apartado anterior, la irradiación global horizontal en la región de Tel Aviv es excelente para la fotovoltaica. En este apartado, se va a diseñar el sistema fotovoltaico y se va a integrarlo al sistema de distribución del hospital.

4.1.1. Superficie, orientación e inclinación

Se aprovechará la azotea del edificio hospitalario para la instalación de paneles ya que esta superficie presenta la ventaja de tener una exposición solar directa durante la mayor parte del día y no hay elementos que puedan generar sombra. La superficie total de la azotea es de 1567m^2 .



Figura 15. Planta del hospital acotada (AdityaS, 2018)

La orientación óptima de los paneles en Tel Aviv es orientación sur, con 30° de inclinación respecto de la horizontal como muestra la Figura 16.

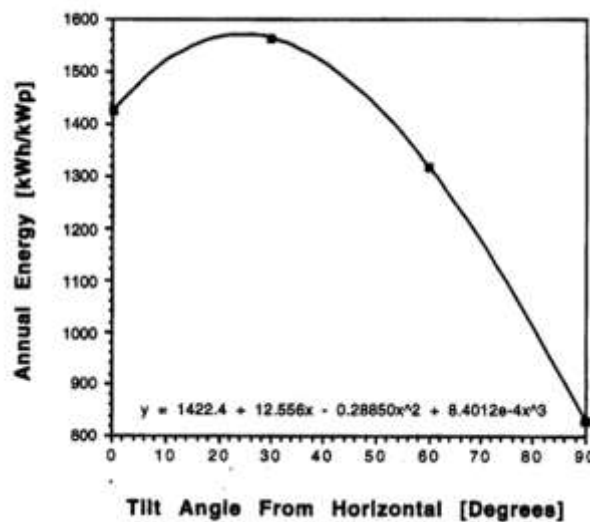


Figura 16. Curva arreglos fotovoltaicos orientación sur con distintos ángulos de inclinación en Tel Aviv
(Prof. D. Faiman, 2000)

Para evitar pérdidas por sombreado, se va a adoptar un criterio de distancia entre hileras (Núñez, 2025) calculado con las ecuaciones [3] y [4] basado en el ángulo solar mínimo en el solsticio de invierno.

$$D = L \cdot \left(\frac{\sin(A)}{\tan(B)} + \cos(A) \right) \quad [3]$$

$$d = D - (L \cdot \cos(A)) \quad [4]$$

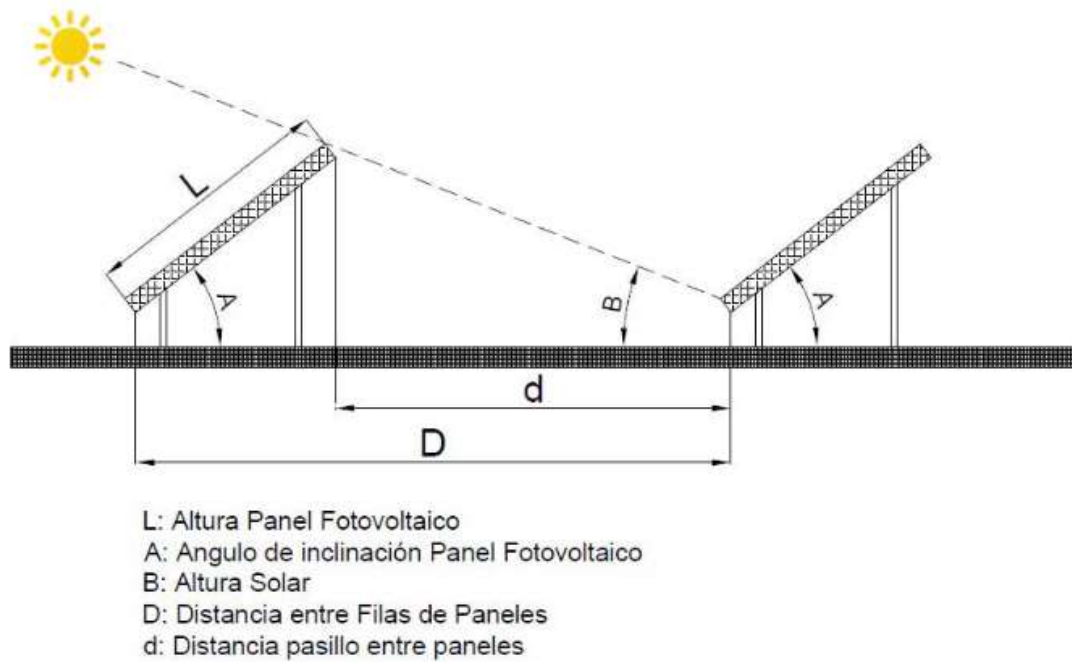


Figura 17. Criterio de distancia entre hileras (Núñez, 2025)

Sustituyendo:

$$L = 1,134m$$

$$A = 30^\circ$$

La altura solar mínima B en grados viene determinada por la ecuación [5].

$$B = 90^\circ - |\varphi - \delta_{\min}| \quad [5]$$

Donde:

- φ es la latitud del lugar ($32,08^\circ$)

- $\delta_{\min}$ es la declinación solar, la mínima es en el solsticio de invierno ($-23,45^\circ$)

$$B = 90^\circ - |32,08^\circ - (-23,45^\circ)| = 34,47^\circ$$

$$D = 1,134 \cdot \left(\frac{\sin(30)}{\tan(34,47)} + \cos(30) \right) = 1,808\text{m}$$

$$d = 1,808 - (1,134 \cdot \cos(30)) = 0,826\text{m}$$

4.1.2. Selección de componentes

Para diseñar el sistema fotovoltaico se debe elegir los módulos fotovoltaicos e inversores de alta eficiencia.

Algunos de los materiales utilizados para la construcción de las células fotovoltaicas son el silicio monocristalino, policristalino, el perovskita, y el cadmio y telurio (CdTe). La eficiencia, coste y durabilidad dependen del material. Se va a usar células de silicio monocristalino debido a su eficiencia de hasta un 27,8% y fiabilidad a largo plazo (Philipps, 2025).

Las células se conectan en serie formando módulos para aumentar el voltaje, que a su vez se conectan en cadenas para que la corriente y el voltaje total aumente. Las cadenas deben estar acopladas a un inversor para transformar la corriente continua a corriente alterna (Li, 2011).

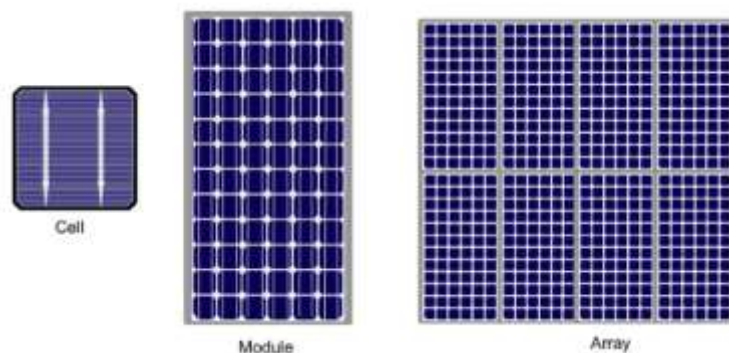


Figura 18. Configuración paneles fotovoltaicos (Li, 2011)

Para seleccionar los módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino más adecuados, se han analizado varias opciones ofrecidas por distintos fabricantes. La tabla 17 resume las

especificaciones técnicas más relevantes de los módulos que se han considerado finalmente por destacar en alta eficiencia, fiabilidad operativa y comportamiento térmico favorable.

Fabricante	Modelo	Potencia pico (Wp)	Eficiencia módulo (%)	Coef. temp. Pmax (%/°C)	Dimensiones (mm)
LONGi	Hi-MO X10 Scientist	640-665	24,6	-0,26	2382 × 1134 × 30
JA Solar	JAM72D42	625-650	26	-0,29	2465 × 1134 × 30
Trina Solar	Vertex N 620 W	570-620	23	-0,29	2382 × 1134 × 35
Canadian Solar	TOPHiKu6	600-630	23,3	-0,29	2382 × 1134 × 30
REC Group	Alpha Pure-RX	450-470	22,6	-0,24	1728 × 1205 × 30

Tabla 17. Comparativa módulos fotovoltaicos monocristalinos (elaboración propia a partir de las fichas técnicas oficiales)⁴

Finalmente se ha seleccionado el modelo Hi-MO X10 Scientist de LONGi, mostrado en la figura 19 dada su elevada eficiencia, potencia pico y un valor absoluto de coeficiente de temperatura bajo.

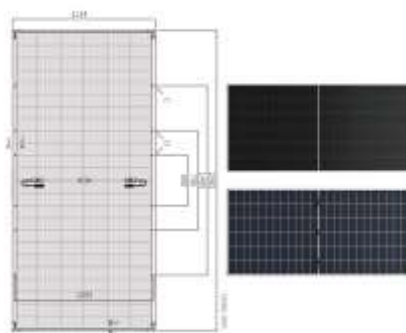


Figura 19. Módulo fotovoltaico seleccionado (LONGi, 2025)

Se han considerado inversores trifásicos con amplios rangos de tensión de entrada y alto rendimiento para garantizar la integración segura y eficiente del sistema fotovoltaico. La

⁴ Acceso a las fichas técnicas oficiales de los fabricantes (último acceso 28/06/2025):

- [LONGi](#)
- [JA Solar](#)
- [Trina Solar](#)
- [Canadian Solar](#)
- [REC Group](#)

tabla 18 compara modelos comerciales de diferentes fabricantes especificando parámetros clave que respaldan la viabilidad técnica de cada alternativa.

Fabricante	Modelo	Potencia AC nominal (kWac)	Rango tensión DC (V)	Corriente máx. por MPPT (A)	Eficiencia máx EU (%)
SMA	Sunny Tripower CORE1	50	150-1.000	30	98,1
SMA	Sunny Tripower CORE2	110	200-1.000	26	98,6
Huawei	SUN2000-150K-MG0	150	200-1.000	48	98,8
Sungrow	SG110CX	110	200-1.100	26	98,7

Tabla 18. Comparativa inversores (elaboración propia a partir de las fichas técnicas oficiales)⁵

La opción de instalar cuatro inversores trifásicos de 50 kW se ha escogido sobre una configuración con dos inversores de 100 kW o uno de más potencia nominal. Esto se debe a que se ha optado por una estrategia modular que incrementa la redundancia ya que la potencia se distribuye de forma equilibrada entre varias unidades, lo que permite mantener la generación estable en caso de fallo de uno de los equipos.



Figura 20. Inversor para cadenas fotovoltaicas seleccionado (SMA, 2025)

Además, simplifica el mantenimiento sin comprometer el suministro en situaciones críticas. Aunque suponga una mayor inversión inicial, se considera justificada dado que en el entorno hospitalario prima la continuidad del servicio eléctrico para garantizar la seguridad de los pacientes. Por todo esto, se ha seleccionado el Sunny Tripower CORE1, mostrado en la figura 20.

⁵ Acceso a las fichas técnicas oficiales de los fabricantes (último acceso 28/06/2025):

- [SMA \(Sunny Tripower CORE1\)](#)
- [SMA \(Sunny Tripower CORE2\)](#)
- [Huawei](#)
- [Sungrow](#)

Para determinar el número de módulos conectados en serie de cada cadena, teniendo en cuenta las especificaciones del inversor, se van a utilizar los datos sacados de la ficha técnica de los módulos fotovoltaicos (LONGi, 2025) plasmados en la tabla 19.

Características del módulo		
Potencia (máx)	W	665
Tensión en MPP	V	45,17
Corriente en MPP	A	14,72
Voc	V	54,52
ISC	A	15,35

Tabla 19. Características del módulo fotovoltaico⁶ (LONGi, 2025)

Con el fin de optimizar el funcionamiento del inversor, la tensión de entrada debe ser lo más cercana a 670 V posible, dada por la curva de eficiencia del inversor.

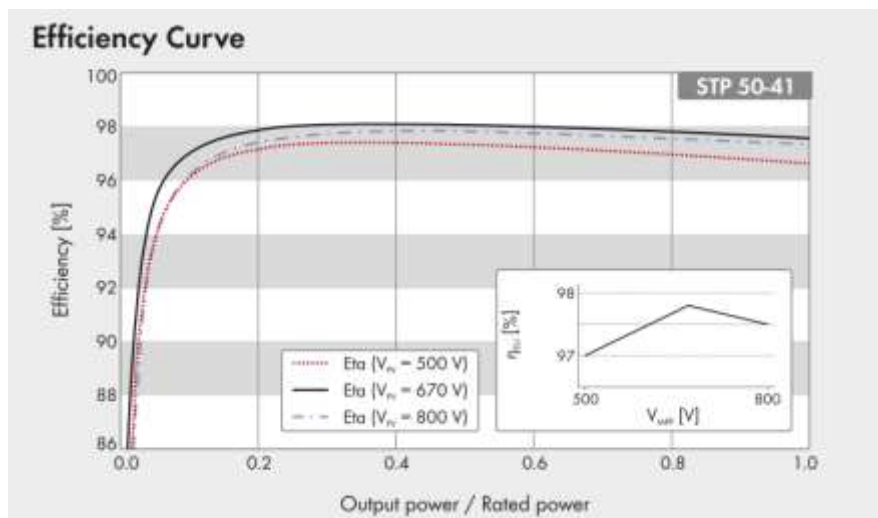


Figura 21. Curva de rendimiento del inversor en función de la tensión de entrada (SMA, 2025)

Por lo tanto, el número de módulos que se van a colocar en serie viene dado por la ecuación [6].

$$NM = \frac{V_{idc}}{V_{MPP}} \quad [6]$$

⁶ MPP (*Maximum Power Point*) es el punto de funcionamiento donde el módulo entrega la máxima potencia eléctrica disponible bajo unas condiciones de irradiancia y temperatura dadas. En este caso, a 25°C y 1.000 W/m².

Donde:

- NM es el número de módulos conectados en serie (Adimensional)
- V_{idc} es la tensión de entrada al inversor que maximiza su rendimiento (670V)
- V_{MPP} es la tensión del módulo en el MPP (45,17V)

Sustituyendo:

$$NM = \frac{670}{45,17} = 15$$

De ahí que cada cadena tendrá 15 módulos conectados en serie. La tensión de salida SV (V) de la cadena:

$$SV = NM \cdot V_{MPP} \quad [7]$$

Sustituyendo:

$$SV = 15 \cdot 45,17 = 677,55 \text{ V}$$

Y la potencia de salida SP (W):

$$SP = NM \cdot P_{MPP} \quad [8]$$

Sustituyendo:

$$SP = 15 \cdot 665 = 9,975 \text{ kW}$$

En el tejado caben 21 cadenas de 15 módulos, 315 módulos en total. Habrá 3 inversores que tengan 5 cadenas conectadas y 1 que tenga 6. La potencia de entrada máxima a los inversores será 49,875 kW y 59,85kW. Esta última es mayor que la potencia nominal del inversor, pero esto no es un problema ya que se suele sobre dimensionar el generador entre 1,1 y 1,3 veces la potencia nominal del inversor (Heltsley, 2024) dado que los módulos fotovoltaicos rara vez operan a potencia máxima instalada por factores como la temperatura, pérdidas por suciedad, desviación de orientación e inclinación etc.

Los módulos estarán dispuestos separando las hileras 0,83m, según el criterio de distancia entre hileras aplicado previamente. Tal como se ha argumentado previamente en este capítulo, estarán orientados hacia el sur, inclinados 30° y dispuestos de forma que se aproveche el espacio disponible en la azotea, dejando huecos para que el personal de limpieza y mantenimiento pueda trabajar, según el esquema de la figura 22. La potencia pico de salida total es 209,475 kW.



Figura 22. Planta del hospital con paneles instalados, elaboración propia a partir de plantilla de (AdityaS, 2018)

La tabla 20 es el resumen de las especificaciones del arreglo fotovoltaico.

Módulos fotovoltaicos	
Módulos totales	315
Módulos por cadena	15
Cadenas totales	21
Tensión cadena	677,55 V
Corriente cadena	14,72 A
Potencia pico módulo	665 W
Potencia pico cadena	9,975 kW
Inversor (X4)	
Tensión de entrada	677,55 V
Potencia nominal	50 kW
Tensión de salida	230V/400V
Máx. eficiencia	98,10%
Potencia pico instalada	209,475 kW

Tabla 20. Configuración de arreglo fotovoltaico y parámetros del inversor (elaboración propia)

4.1.3. Mantenimiento y otras consideraciones

El correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico a largo plazo requiere un plan de mantenimiento preventivo adaptado a las condiciones climáticas de Tel Aviv. El plan de mantenimiento debe incluir inspección periódica de módulos para detectar suciedad, daños en los módulos o en los inversores o conexiones defectuosas. Además de una limpieza periódica para minimizar pérdidas por acumulación de polvo y materia orgánica (International Energy Agency, 2022). La planificación del mantenimiento debe coordinarse para no interferir con áreas críticas y asegurar que no afecta a la seguridad de los pacientes.

4.2 ALMACENAMIENTO CON BATERÍAS

En este apartado se considera la integración de un sistema de almacenamiento mediante baterías. El uso de un banco de baterías permite absorber picos de demanda y cubrir la transición entre la red principal y los generadores diésel. Además, asegura el funcionamiento sin interrupciones de cargas críticas como son los sistemas de soporte vital.

Se necesita un inversor de conexión a red de alta eficiencia, diseñado para inyectar energía en AC y con la funcionalidad para gestionar carga y descarga de baterías, es decir, un inversor híbrido o bidireccional. Por lo tanto, se va a adoptar el esquema utilizado en otros hospitales como el de Valley Children's Healthcare (Valley Children's Healthcare, 2024). Este esquema consiste en conectar el banco de baterías a través de su propio inversor bidireccional capaz de operar de forma autónoma. Se carga absorbiendo excedentes fotovoltaicos disponibles en la red interna y se descarga en ausencia de generación solar o ante cortes en la red evitando que los generadores diésel se activen inmediatamente. Para ello, un EMS monitoriza la producción de fotovoltaica, el estado de carga de las baterías y la operación de los generadores diésel, priorizando la operación más eficiente.

4.2.1. Selección de componentes

Para cubrir interrupciones instantáneas y transitorios de tensión mientras se activa la generación diésel, optimizar el aprovechamiento de la energía generada por el arreglo fotovoltaico y reducir la dependencia de los grupos electrógenos, se va a instalar Battery-Max LITE (BYD Energy Storage, 2025).

Esta solución utiliza la tecnología de celda de batería fosfato de hierro de litio y tiene una eficiencia de ida y vuelta $\geq 95\%$. Además, es un sistema modular flexible ya que se puede escalar la capacidad instalada entre 30kW y 2,88 MW instalando varios módulos idénticos en paralelo. Esta flexibilidad permite que se adapte fácilmente a futuras ampliaciones de demanda o generación renovable sin rediseñar el esquema eléctrico principal.



Figura 23. Batería seleccionada (BYD Energy Storage, 2025)

Para dimensionar la potencia de descarga y la capacidad útil, se ha partido de la potencia pico del hospital 0,9 kW . Se va a instalar una capacidad de 540kWh. Asumiendo como valor conservador que la proporción de cargas críticas y esenciales es el 60% de la demanda total. Y suficiente como para cubrir las cargas críticas y esenciales durante 1 hora, autonomía adecuada para cubrir la transición de red a generador en caso de corte de red sin depender de la generación fotovoltaica.

Para alcanzar 540kWh de energía utilizable, se instalarán 6 módulos Battery-Max LITE, cada uno con 90 kWh de energía disponible y con las especificaciones de la tabla 21.

Parámetro	Valor
Módulo de batería	Módulo Lite (7,5 kWh, 76,8 V, 75 kg)
Número de módulos	12
Energía utilizable	90 kWh
Voltaje nominal	921 V
Voltaje de funcionamiento	777 ~ 1065 V
Peso total	1.300 kg

Tabla 21. Datos módulo de la batería (BYD Energy Storage, 2025)

Los módulos Battery-Max LITE se deben conectar a la red interna del hospital mediante inversores bidireccionales que conviertan la energía almacenada a 400V AC trifásica sincronizándose con la red de baja tensión del hospital. El inversor seleccionado es el BCS250K-A mostrado en la figura 24. Se instalarán dos unidades, cada una con una potencia máxima de salida de 275kW, lo que proporciona una potencia total de conversión de 550kW, suficiente para cubrir la demanda crítica de 540 kW con margen operativo. Se ha optado por instalar dos inversores bidireccionales en lugar de un único equipo de mayor potencia con el fin de tener garantía de redundancia operativa y para facilitar el mantenimiento sin interrupción de suministro.



Figura 24. Inversor bidireccional para almacenamiento de energía seleccionado (Kehua Tech, 2025)

El sistema de respaldo eléctrico de generación se ha planteado como una solución modular e integrada. Se ha combinado generación renovable mediante un campo fotovoltaico conectado a inversores específicos para cadenas fotovoltaicas, un banco de baterías dimensionado para asegurar el suministro continuo a las cargas críticas e

inversores bidireccionales que permiten gestionar la carga y descarga del almacenamiento.

El conjunto se coordina mediante un sistema de gestión EMS que optimiza la interacción entre almacenamiento, generación renovable y los grupos electrógenos de respaldo. De esta forma se asegura la estabilidad de la red minimizando la dependencia en combustible fósil y se asegura la cobertura de la demanda de cargas esenciales y críticas en todo momento. La siguiente tabla muestra de forma resumida los parámetros clave definidos para la instalación.

Parámetro	Valor definido
Consumo eléctrico anual del hospital	4 GWh
Potencia pico consumo hospital	900 kW
Potencia pico instalada FV	209,475 kW
Potencia máxima inversores para cadenas fotovoltaicas	200 kW (50kW/unidad)
Potencia respaldada por baterías (cargas críticas y esenciales, 60% de la potencia pico)	540 kW
Potencia máxima total inversores bidireccionales para almacenamiento	550kW (275kW/unidad)
Autonomía objetivo del almacenamiento	1 hora

Tabla 22. Resumen de parámetros de diseño: consumo, potencia instalada FV, almacenamiento e inversores (elaboración propia)

La figura 25 muestra el esquema actualizado de la infraestructura existente antes del proyecto y la propuesta de mejora con el almacenamiento y el sistema fotovoltaico incluidos.

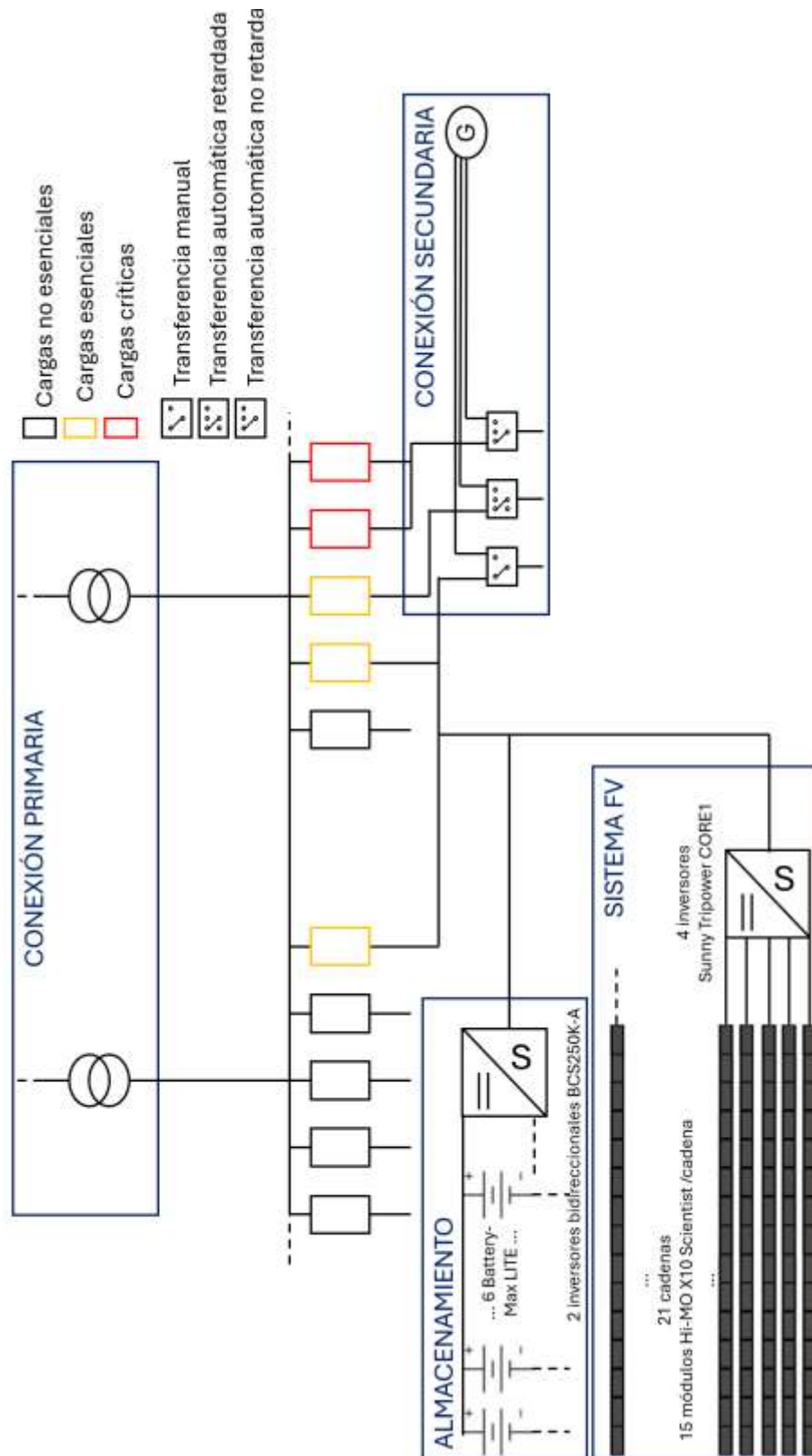


Figura 25. Esquema unifilar de la infraestructura existente y propuesta (elaboración propia)

Conclusiones del capítulo

El diseño del sistema de respaldo eléctrico desarrollado en este capítulo integra tecnologías renovables, almacenamiento en baterías y generación convencional asegurando la continuidad del suministro en el hospital materno infantil. La solución propuesta combina generación fotovoltaica instalada sobre la cubierta del edificio, con una potencia pico de 209,475 kW, obtenida mediante 315 módulos Hi-MO X10 Scientist de LONGi, y cuatro inversores trifásicos Sunny Tripower CORE1 de 50 kW cada uno, 200 kW en total.

Por otro lado, se ha dimensionado un banco de baterías Battery-Max LITE de 540 kWh de energía utilizable, implementado mediante seis módulos de tecnología LiFePO4 de 90 kWh cada uno. Estos están gestionados por dos inversores bidireccionales BCS250K-A de 275KW por unidad, aportando una potencia máxima de conversión de 550kW, suficiente como para soportar las cargas críticas y esenciales durante el tiempo necesario de conmutación. Además de todo esto, se mantienen los ya existentes generadores diésel, dimensionados para cubrir la potencia pico del hospital de 900kW conforme a los criterios de carga identificados.

Adicionalmente, se ha incorporado un sistema EMS que garantiza la coordinación de todos los sistemas maximizando la eficiencia operativa y optimizando el uso de los generadores para depender en la menor medida posible de combustibles fósiles. El impacto, potencial de mejora y las limitaciones de la solución propuesta serán evaluados en la conclusión del proyecto.

Capítulo 5. VIABILIDAD ECONÓMICA

El presente capítulo desarrolla de forma rigurosa el análisis de viabilidad económica del proyecto. Este análisis es esencial ya que complementa la viabilidad técnica justificada en los otros apartados y demuestra si la solución propuesta resulta económicamente sostenible a lo largo de la vida útil del sistema.

5.1 DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)

Determinar el CAPEX es fundamental para cuantificar los recursos económicos necesarios para poner en servicio la solución plantada. La inversión abarca todos los costes directos e indirectos asociados a la instalación de los sistemas de generación fotovoltaica, almacenamiento en integración de los generadores diésel existentes además de una provisión para contingencias técnicas.

5.1.1. Coste de emplazamiento (CE)

La tabla 23 presenta únicamente el CE, que es la suma de equipos principales, mano de obra directa de montaje y conexionado y transporte y materiales auxiliares inmediatos para la instalación.

Partida	Descripción técnica	Unidad de medida	Valor unitario (€)	Total (€)
Módulos FV	315 módulos de 665Wp Hi-MO X10 Scientist de LONGi En total 209,475kW	€/kWp	158,000	33.097,05
Inversores FV	4 inversores trifásicos de 50kW Sunny Tripower CORE1 En total 200kW	€/kWp	125,627	25.125,36
Baterías	12 módulos de 7,5kWh Battery-Max LITE En total 90kWh	€/kWh	358,062	32.225,54
Inversores bidireccionales	2 inversores bidireccionales de 275kW BCS250K-A En total 550kW	€/kWp	50,000	27.500,00
Montaje directo	Trabajos físicos necesarios para instalar los equipos principales	10% de equipos	—	11.794,79
TOTAL CE		Coste de Emplazamiento		129.742,74 €

Tabla 23. Coste base de emplazamiento (elaboración propia)

El montaje directo de los equipos principales se estima como el 10% de dichos equipos, ya que el proyecto es de tamaño medio sin obra civil compleja (Vignesh Ramasamy, 2021).

5.1.2. Costes directos (CD)

Los costes directos incluyen el CE y partidas de obra civil complementaria. Al no disponer de partidas cerradas, se han utilizado ratios paramétricas para aproximar los componentes de la inversión total. Los costes directos engloban equipos principales (módulos FV, inversores, baterías etc.), obras civiles básicas y montaje eléctrico o mecánico. Se calculan con la ecuación [9]:

$$CD = 2,2 \cdot CE \quad [9]$$

$$CD = 285.434 \text{ €}$$

5.1.3. Costes indirectos (CI)

Los costes indirectos, cubren honorarios de ingeniería, supervisión de obra, licencias y permisos, seguros de montaje y la previsión de imprevistos técnicos durante la ejecución.

Este proyecto se ha limitado a la fase de diseño y propuesta técnica por lo que se va a estimar los costes indirectos relacionados con la gestión y ejecución del proyecto aplicando un factor de 0,25 sobre los costes directos.

$$CI_{\text{gestión y ejecución}} = 0,25 \cdot CD \quad [10]$$

Para calcular los costes asociados a la ingeniería, diseño, redacción y maquetación, se han estimado las horas dedicadas. A partir de estas, se ha obtenido teniendo en cuenta que un ingeniero junior trabaja aproximadamente 1.680 h/año y tiene un salario bruto anual de 30.000 €.

Actividad	Descripción	Estimación	Total (€)
Gestión y ejecución	Supervisión de obra, licencias y permisos, seguros, imprevistos.	0,25*CD	71.358,50 €
Ingeniería técnica de diseño	Dimensionamiento, cálculos eléctricos, selección de componentes.	80 h	1.440,00 €
Redacción técnica y maquetación	Elaboración de memoria, tablas, figuras, diagramas, revisión de estilo.	40 h	720,00 €
TOTAL			73.518,50 €

Tabla 24. Desglose costes indirectos (elaboración propia)

Por todo esto los costes indirectos, desglosados en la tabla 24, ascienden a:

$$CI = 73.519 \text{ €}$$

5.1.4. Inversión total (INV)

Con todo esto, se puede calcular la inversión total (INV) con la ecuación [11].

$$INV = CD + CI \quad [11]$$

La inversión total desembolsada antes de la puesta en marcha es de:

$$INV = 358.953 \text{ €}$$

5.2 FACTOR DE AMORTIZACIÓN (FA) Y COSTE ANUALIZADO (A)

Para repartir la inversión en anualidades equivalentes se aplica el factor de amortización tal y como muestra la ecuación [12].

$$f_a = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad [12]$$

Donde:

- i = WACC es una tasa de descuento (i en tanto por 1 y WACC en %)
- N es la vida útil del proyecto (años)

Para la tasa de descuento se suele tomar el coste promedio ponderado de capital (WAAC). Para infraestructuras hospitalarias, con riesgo medio, es razonable usar 7-8%. Por otro lado, la vida útil de la generación FV, está entre 20-25 años, los generadores diésel están en torno a los 15-20 años y las baterías entre 10-15. Por lo tanto, se va a tomar 20 años como vida útil del proyecto.

Aplicando la ecuación,

$$f_a = \frac{0,075(1 + 0,075)^{20}}{(1 + 0,075)^{20} - 1} = 0,098$$

Es decir, que el coste normalizado de la inversión INV es el 9,8% de la inversión.

$$A = INV \cdot f_a \quad [13]$$

Sustituyendo,

$$A = 35.177 \text{ €/año}$$

5.3 GASTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

Para el sistema híbrido de respaldo del hospital, los gastos anuales esperados son los siguientes:

- Mantenimiento del sistema FV: limpieza de paneles, inspección de inversores y mantenimiento del cableado y conexiones.
- Mantenimiento del banco de baterías: inspección de módulos, control de sistemas de refrigeración etc.

La tabla 24 es el desglose de la obtención del OPEX del año 0. Cada gasto de operación se ha estimado a partir de ratios de referencia para instalaciones híbridas de tamaño medio.

El mantenimiento de la parte de los módulos fotovoltaicos y de sus inversores se calcula como un 2% anual del coste de inversión específico de los módulos FV, inversores FV y su parte proporcional del montaje directo (IRENA, 2023).

El mantenimiento del sistema de almacenamiento se valora como un 1,5% anual del CAPEX de las baterías, los inversores bidireccionales y su parte correspondiente al montaje. Se ha adoptado una ratio de mantenimiento anual del 1,5% del CAPEX de las baterías coherente con lo indicado en (Future energy storage trends: An assessment of the economic viability, 2015).

Gasto	Base de cálculo	Ratio estimado	Estimación año 0
Mantenimiento FV	63.515,36 €	2,0%	1.270,31 €
Mantenimiento baterías	65.155,13 €	1,5%	977,33 €
Total OPEX año 0	—		2.247,63 €

Tabla 25. Resumen gastos de operación año 0 (elaboración propia)

La estimación total del gasto operativo en año 0 asciende a 2.247 € correspondiente a realizar los trabajos de mantenimiento preventivo para asegurar la fiabilidad y vida útil de los equipos principales y sus inversores asociados.

5.4 COSTE NORMALIZADO DE GENERACIÓN (LCOE)

Cada gasto operativo estimado en año 0 se proyecta a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto considerando una tasa de incremento nominal r_x que refleja la evolución esperada de cada partida por inflación técnica o subida de precio de insumos. Luego se actualiza cada flujo mediante el factor de acumulación $f_{\sum, x}$ y se normalizará utilizando el factor de amortización para integrarlo en el cálculo del coste normalizado de la electricidad LCOE.

La tasa efectiva de proyección si $r_x < i$ y $k_x < 1$

$$k_x = \frac{1+r_x}{1+i} \quad [14]$$

Asumiendo un 2% de inflación técnica y con el WACC = 7,5%

$$k_x = \frac{1 + 0,02}{1 + 0,075} = 0,95$$

El factor de acumulación

$$f \sum, x = k_x \frac{1-k_x^N}{1-k_x} \quad [15]$$

Teniendo en cuenta que la vida útil N son 20 años,

$$f \sum, x = 0,95 \frac{1 - 0,95^{20}}{1 - 0,95} = 12,19$$

El valor presente acumulado

$$C_x = C_{x,0} \cdot f \sum, x \quad [16]$$

$$C_x = 2.247,63 \cdot 12,19 = 27.395 \text{ €}$$

Y el valor normalizado

$$CN_x = C_x \cdot f_a \quad [17]$$

$$CN_x = 27.395,84 \cdot 0,098 = 2684 \text{ €/año}$$

Para el mantenimiento del sistema FV y de almacenamiento con baterías, se ha utilizado un 2% de incremento nominal, obteniendo un factor de acumulación de 12,16. Se ha actualizado el coste total con esto resultando en 27.395 € de valor presente acumulado que anualmente equivalen a 2.685 €.

El Coste Normalizado de la Electricidad (LCOE) representa el coste unitario de generar cada MWh y es un indicador clave en la evaluación económico-financiera de sistemas energéticos.

Se va a calcular utilizando la ecuación [18].

$$LCOE = \frac{A + \sum CN_x}{P} \quad [18]$$

Donde:

- A es el coste anualizado de la inversión (€/año)
- $\sum CN_x$ es la suma de todos los gastos operativos normalizados (€/año)
- P es la producción neta anual de energía suministrada al hospital (MWh)

$$\text{LCOE} = \frac{35.177 + 2.685}{377,055} = 100,41 \text{ €/MWh}$$

Para el cálculo de producción neta anual de energía, se ha considerado que el HSP⁷ en Tel Aviv es 1.800h/año (EU Science Hub, 2025).

Este valor es coherente con rangos del LCOE para sistemas fotovoltaicos como se puede observar en la figura 26.

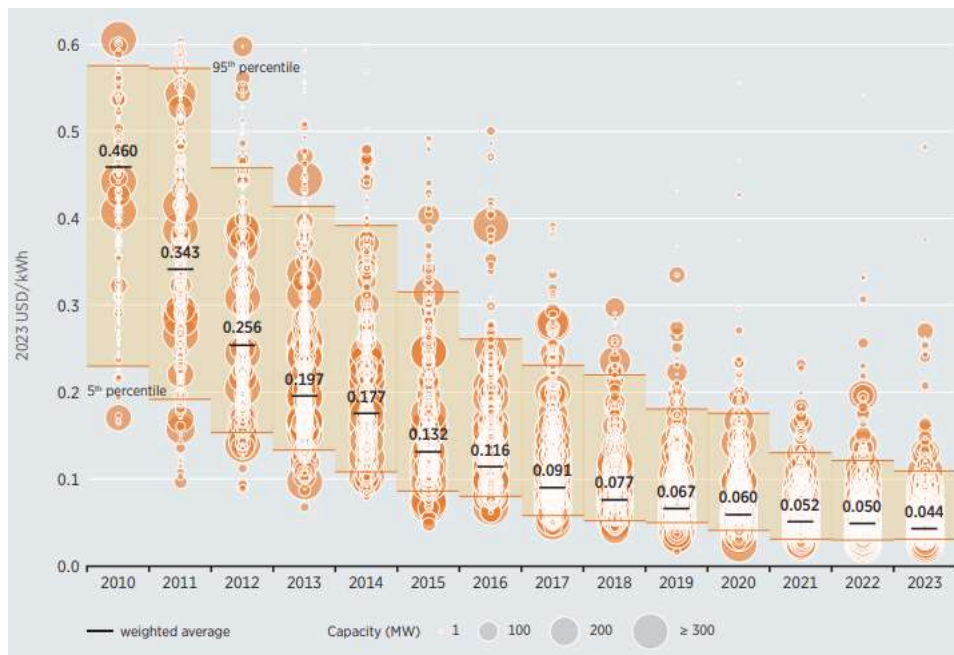


Figura 26. tendencia de reducción de LOCE de proyectos FV (IRENA, 2023)

El LCOE calculado servirá de base para evaluar la rentabilidad del proyecto en comparación con el coste de compra de energía de la red.

5.5 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El objetivo de este apartado es evaluar si la solución técnica propuesta resulta económicamente rentable frente a la alternativa de suministro desde la red. Para ello se

⁷ HSP (*Peak Sun Hours*) representa el número de horas equivalentes al día o al año de funcionamiento a potencia pico de los módulos fotovoltaicos.

van a comparar el LCOE y el LROE, coste normalizado de compra de red de la región de Israel.

Valor actual neto (VAN)

$$VAN = (LROE - LCOE) \cdot P \cdot f \sum_x - INV \quad [19]$$

Tomando como LROE para Israel 160 €/MWh (Global Petrol Prices, 2025).

$$VAN = (160 - 100) \cdot 377,055 \cdot 12,19 - 358.953 = -83.175 \text{ €}$$

El resultado negativo indica que, bajo las condiciones del coste de inversión, gastos operativos y precio de venta de energía de la red asumidos, el proyecto no alcanzaría la rentabilidad económica durante su vida útil sin apoyos adicionales.

5.6 PERIODO DE RETORNO (PR)

El periodo de retorno se va a calcular como la relación entre la inversión total y los ahorros netos anuales generados por sustituir la compra de electricidad a la red con generación fotovoltaica.

$$PR = \frac{INV}{V_0 - OPEX} \quad [20]$$

El ahorro neto está calculado como $V_0 - OPEX$, donde V_0 (€) son los ingresos o ahorros brutos anuales, calculados como $LROE \cdot P$.

$$PR = \frac{358.953}{160 \cdot 377,055 - 2.247,63} = 6,2 \text{ años}$$

Se recuperaría la inversión en 6,2 años gracias a los ahorros anuales que genera el sistema por generar parte de su demanda y no comprarla de la red.

Conclusiones del capítulo

Del análisis de viabilidad económica se concluye que el sistema híbrido de respaldo propuesto presenta un coste normalizado de generación eléctrica de 100 €/MWh con un

periodo de retorno en torno a 6 años, considerando que el precio de electricidad de red es 160 €/MWh.

El valor actual neto calculado es negativo, pero el objetivo principal del proyecto no es la venta de energía ni la obtención de beneficio económico directo. Es garantizar la continuidad de suministro eléctrico en el hospital materno infantil para proteger la vida de los pacientes. Por este motivo, los resultados económicos no limitan la justificación técnica y social de la solución propuesta, que prioriza la fiabilidad del suministro como criterio fundamental de diseño.

Capítulo 6. CONCLUSIÓN

La necesidad de diseño de un sistema de respaldo eléctrico para este hospital materno infantil se fundamenta en asegurar un suministro continuo y seguro en un entorno donde cualquier interrupción pone en riesgo la vida de los pacientes. En el contexto geopolíticamente inestable de Israel, la dependencia de la red eléctrica local, sin conexiones internacionales, intensifica la exposición a fallos en la red y complicaciones logísticas con posibilidad de complicar el suministro de combustibles fósiles como opción de respaldo. Por todo esto, el diseño de una solución híbrida con capacidad de almacenamiento para dotar al complejo de la máxima autonomía energética posible surge como respuesta a este problema, dando lugar a que durante todo el desarrollo del proyecto se priorice soluciones modulares que aumenten la resiliencia.

El análisis del estado de la cuestión ha manifestado que hospitales de referencia combinan generadores diésel con alimentación ininterrumpida (UPS). Y cada vez más, microrredes locales con generación renovable y almacenamiento. Gracias a casos de éxito como las microrredes hospitalarias en California y Puerto Rico, se confirma la viabilidad técnica de integrar renovables, sobre todo fotovoltaica, en el entorno hospitalario sin comprometer la seguridad de suministro. Además, ha destacado la tendencia hacia soluciones modulares y escalables, capaces de adaptarse a la evolución de demanda y a situaciones cotidianas inevitables como puede ser el mantenimiento de equipos o fallos inesperados.

Para identificar las restricciones y oportunidades específicas de este hospital, se ha realizado un estudio detallado de la infraestructura existente, de las condiciones climáticas de la zona de Tel Aviv y de las cargas térmicas y eléctricas. Mediante este análisis exhaustivo, se ha comprobado la viabilidad de invertir en generación fotovoltaica y la insuficiencia del recurso eólico, por lo que se ha descartado la posibilidad de instalar turbinas eólicas. Además, se ha constatado que la red de distribución interna está organizada por criticidad de cargas, lo que ha facilitado el diseño del respaldo, que prioriza los servicios vitales frente a otras cargas no esenciales. Otros parámetros que se han estudiado, esenciales para el dimensionado de los sistemas de generación,

almacenamiento y control han sido los perfiles horarios y la estimación de demanda pico con los indicadores clave de consumo por cama y consumo por metro de superficie útil. Con este estudio de cargas se ha concluido que la potencia pico del consumo del hospital es de 900kW y la demanda total anual es de 5GWh, distribuida entre 4GWh de consumo eléctrico y 1GWh destinado a climatización.

Para cubrir esta demanda, se ha diseñado un sistema híbrido compuesto por generación fotovoltaica instalada en la cubierta y conectada a varios inversores, un banco de baterías con sus inversores bidireccionales y la posibilidad de integración con los generadores diésel. El esquema satisface los objetivos marcados:

- Continuidad y seguridad al garantizar la cobertura inmediata de cargas críticas y esenciales minimizando riesgos en procedimientos médicos sensibles, a pesar de fallos en la red o problemas de suministro de combustibles fósiles.
- Viabilidad técnica y replicabilidad, ya que emplea componentes y configuraciones contrastadas, modulares y adaptables a futuras aplicaciones o a otros proyectos similares en la zona o del mismo ámbito.
- Reducción de dependencia fósil dado que al incorporar renovables y almacenamiento se optimiza el uso de los grupos electrógenos y se evita que se pongan en marcha en situaciones de interrupciones breves de suministro.
- Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Salud y Bienestar (3) y de industria, Innovación e Infraestructura) ya que aporta una propuesta práctica para la transición energética en el sector sanitario.

La potencia pico de generación renovable instalada es de 209,475kW y se estima que cubrirá 377 GWh del consumo eléctrico del hospital anualmente. La generación será con 315 módulos Hi-MO X10 Scientist de LONGi, y cuatro inversores trifásicos Sunny Tripower CORE1. El banco de baterías consiste en seis módulos Battery-Max LITE con 540 kWh de energía utilizable en total, y conectados a dos inversores bidireccionales BCS250K-A con potencia máxima de conversión de 550kW, suficiente como para cubrir la demanda de las cargas críticas y esenciales durante periodos transitorios de los generadores convencionales e interrupciones muy breves. Todo esto estará coordinado por un sistema EMS que optimiza el funcionamiento para depender en menor medida posible de los combustibles fósiles.

El coste de la generación es de 100 €/MWh y el periodo de retorno de la inversión de 6,2 años. A pesar de tener un VAN negativo, el proyecto demuestra que es beneficioso y técnicamente viable reforzar la autonomía energética de infraestructuras críticas incluso en alta exposición a fallos de red. Y representa una referencia aplicable a otros centros en condiciones comparables.

Como trabajos futuros, se propone completar este diseño con una simulación dinámica de la microrred en escenarios de fallo extendido, incluso en el propio esquema eléctrico del hospital. También se podría explorar la posibilidad de incorporar tecnologías emergentes como celdas de combustible alimentadas.

En conjunto, este Trabajo de Fin de Grado es un diseño de respaldo eléctrico estructurado, realista y alineado con los estándares de seguridad del sector hospitalario que responde a la motivación de garantizar la seguridad energética de la atención sanitaria materno infantil.

BIBLIOGRAFÍA

Adib Ahmed, T. J. M. N. H. M. A. F. Z. A. H. A. h. J. a. M. S. H., 2025. Predicting Energy Consumption in Hospitals Using Machine Learning: A Data-Driven Approach to Energy Efficiency in the USA. *Journal of Computer Science and Technology Studies* , 7(1), pp. 199-219.

AdityaS, 2018. *hospital*, s.l.: 3D Warehouse.

Adnan Al-Bashir, M. A.-D. A. A. B. H. W. A., 2019. Analysis of Effects of Solar Irradiance, Cell Temperature and Wind Speed on Photovoltaic Systems Performance. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), pp. 353-359.

aenert, 2025. *Energy industry in Israel*. [En línea]
Available at: <https://aenert.com/countries/asia/energy-industry-in-israel/>
[Último acceso: 02 05 2025].

Andreas T. Procopiou, L. O., 2019. *Advanced Planning of PV-Rich Distribution Networks - Deliverable 1: HV-LV modelling of selected HV feeders*, Melbourne: The University of Melbourne.

Annabelle Pratt, V. D., 2022. *U.S. Department of Energy*. [En línea]
Available at: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-12/Topic4%20Report.pdf>
[Último acceso: 15 03 2025].

Australian Government, 2025. *Size your solar system*. [En línea]
Available at: <https://www.energy.gov.au/solar/solar-system-design/size-your-solar-system>
[Último acceso: 24 06 2025].

Brainbox AI, a Trane Technologies Company , 2025. *Mastering building energy efficiency: EUI and energy consumption*. [En línea]
Available at: <https://brainboxai.com/en/articles/mastering-building-energy-efficiency->

eui-and-energy-consumption

[Último acceso: 13 04 2025].

BYD Energy Storage, 2025. *Battery-Max LITE*. [En línea]
Available at: https://bydbatterybox.com/uploads/downloads/250516_Datasheet_Battery-Max%20Lite_V1.2_ES-6826e02048a0f.pdf

[Último acceso: 25 06 2025].

Chaamala Klinger, O. L. y. V. M., 2014. *Power Outages, Extreme Events and Health: a Systematic Review of the Literature from 2011-2012*. [En línea]
Available at: <https://currents.plos.org/disasters/article/power-outages-extreme-events-and-health-a-systematic-review-of-the-literature-from-2011-2012/>

[Último acceso: 23 01 2025].

Chappell, B., 2017. *Tesla Turns Power Back on At Children's Hospital in Puerto Rico*. [En línea]
Available at: <https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2017/10/25/560045944/tesla-turns-power-back-on-at-childrens-hospital-in-puerto-rico>

[Último acceso: 28 01 2025].

Clean Energy Group, 2015. *Fuel Cells in Hospitals*. [En línea]
Available at: <https://www.cleanegroup.org/wp-content/uploads/Fuel-Cells-in-Resilient-Power-Projects-for-Hospitals.pdf?>

[Último acceso: 22 03 2025].

Climate Data, 2021. *Tel Aviv-Yafo Climate (Israel)*. [En línea]
Available at: <https://en.climate-data.org/asia/israel/tel-aviv-district/tel-aviv-yafo-3471/#:~:text=At%20an%20average%20temperature%20of,55.7%20%C2%B0F>

[Último acceso: 02 05 2025].

Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018. *Grupos electrógenos - conceptos y aplicaciones*, s.l.: s.n.

Davoudi, V., 2015. *Potencia De Respaldo Y De Emergencia En Hospitales*. [En línea]
Available at: https://www.cat.com/es_US/by-industry/electric-power/Articles/ep-

[news/ep-news-emergency-and-standby-power-in-hospitals.html](https://www.ep-news-emergency-and-standby-power-in-hospitals.html)

[Último acceso: 20 01 2025].

dc group, 2023. *The Importance of Uninterruptible Power in Hospitals*. [En línea]

Available at: <https://www.dc-group.com/the-importance-of-uninterruptible-power-in-hospitals/>

[Último acceso: 22 01 2025].

EAI, 2024. *Area Required Factors affecting roof area required by rooftop solar PV plants*. [En línea]

Available at: <https://www.eai.in/ref/ae/sol/rooftop/area>

[Último acceso: 15 06 2025].

EATON, 2021. *Reference design guide: Critical power for healthcare*. [En línea]

Available at: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/buildings/reference-design/eaton-guide-reference-design-healthcare-critical-power-en-us.pdf>

[Último acceso: 10 05 2025].

ELUM energy, 2023. *¿Qué es un sistema híbrido solar-diesel?*. [En línea]

Available at: <https://elum-energy.com/es/blog/articulos/sistema-hibrido-fv-diesel/>

[Último acceso: 24 06 2025].

Enel, 2025. *¿Qué es una microred?*. [En línea]

Available at: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-a-microgrid-and-how-does-it-work>

[Último acceso: 22 01 2025].

Energy Power, 2024. *Generadores Eléctricos en Hospitales y el Sistema de Salud*. [En línea]

Available at: <https://energypower.ec/generadores-electricos-en-hospitales-sistema-salud/>

[Último acceso: 2025 01 20].

ETKHO Hospital Engineering, 2021. *Current outlook of hospital energy cost and consumption*. [En línea]

Available at: <https://www.etkho.com/en/current-outlook-of-hospital-energy-cost-and-consumption/#:~:text=In%20Spain%2C%20there%20are%20more,and%20lighting%20>

%289

[Último acceso: 10 05 2025].

EU Science Hub, 2025. *Photovoltaic Geographical Information System PVGIS*. [En línea]

Available at: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

[Último acceso: 01 07 2025].

Future energy storage trends: An assessment of the economic viability, p. u. a. i. o. e. e. s. o. t. N. 2., 2015. *Future energy storage trends: An assessment of the economic viability, potential uptake and impacts of electrical energy storage on the NEM 2015–2035*, Newcastle: Australian Energy Market Commission.

Ghert-Zand, R., 2024. *On high alert since October 7, hospitals were already prepared to deal with Iran attack*. [En línea]

Available at: <https://www.timesofisrael.com/on-high-alert-since-october-7-hospitals-were-already-prepared-to-deal-with-iran-attack/#:~:text=hospitals%20and%20other%20critical%20services%2C%E2%80%9D,Halbertal%20said>

[Último acceso: 06 05 2025].

Global Petrol Prices, 2025. *Israel electricity prices*. [En línea]

Available at: https://www.globalpetrolprices.com/Israel/electricity_prices/

[Último acceso: 01 07 2025].

Google, 2025. *Google Maps*. [En línea]

Available at: <https://www.google.es/maps>

[Último acceso: 25 06 2025].

Gundersen Lutheran Medical Center, Inc, 2013. *Biomass boiler a key part of*. [En línea]

Available at: <https://www.gundersenhealth.org/document/24701>

[Último acceso: 28 01 2025].

Guyer, J. P., 2010. *Introduction to Electrical Systems for Medical Facilities*. [En línea]

Available at:

<https://www.cedengineering.com/userfiles/An%20Introduction%20to%20Electrical%20Sys%20for%20Med%20Fac%20R1.pdf>

[Último acceso: 11 04 2025].

Heltsley, K., 2024. *Solar PV Inverter Sizing | Complete Guide*. [En línea] Available at: <https://www.itekenergy.com/solar-inverter/solar-pv-inverter-sizing/> [Último acceso: 25 06 2025].

International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2022. *Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates*, s.l.: s.n.

International Energy Agency, 2022. *Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates*, s.l.: s.n.

IRENA, 2023. *Renewable power generation costs in 2023*, s.l.: IRENA.

Israel Electric, 2025. *Who We Are*. [En línea] Available at: <https://iec-global.com/about-us> [Último acceso: 21 04 2025].

Israth Jahan Chowdhury, S. H. Y. T. S. G. S. A. Z. M. S. B. A. H. S. N. M. S. B. P., 2024. Analysis of Model Predictive Control-Based Energy Management System Performance to Enhance Energy Transmission. *Energies*, 17(11).

J. A. Amusan, E. B. O., 2023. The Effect of Cloud on the Output Performance of a Solar Module. *IJESC*, 9(2).

Jenket, J. M. a. D., 2020. *Reliability of emergency and standby diesel generators: Impact on energy resiliency solutions*. [En línea] Available at: <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v268y2020ics030626192030430x.html> [Último acceso: 12 04 2025].

Justo García-Sanz-Calcedo, M. G.-C. y. G. S.-B., 2019. Electrical and thermal energy in private hospitals: Consumption indicators focused on healthcare activity. *Sustainable Cities and Society*, 47(101482).

Kehua Tech, 2025. *1000Vdc Energy Storage Converter BCS100K~500K-A Series*. [En línea]

Available at: <https://digitalenergy.kehua.com/pdfView/1824312531203473408>
[Último acceso: 27 06 2025].

Keyhani, A., 2019. MICROGRID WIND ENERGY SYSTEMS. En: *Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems (3rd Edition)*. s.l.:John Wiley & Sons, pp. 329-331.

Keyhani, A., 2019. SOLAR ENERGY SYSTEMS. En: *Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems (3rd Edition)*. s.l.:John Wiley & Sons, pp. 247-257.

Khaled Bawaneh, F. G. N. M. R. y. B. D., 2019. Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States. *Energies*, 12(19).

Lewis, C., 2020. *Direct Relief Solar Microgrid case study*. [En línea]
Available at: <https://clean-coalition.org/community-microgrids/direct-relief-case-study/>?
[Último acceso: 11 03 2025].

Li, Y., 2011. *Photovoltaic Systems for Solar Electricity Production*. [En línea]
Available at: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-652-11>
[Último acceso: 15 03 2025].

Li, Y., 2011. *Photovoltaic Systems for Solar Electricity Production*. [En línea]
Available at: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-652-11>
[Último acceso: 16 03 2025].

LONGi, 2025. *Hi-MO X10 Scientist*. [En línea]
Available at: https://static.longi.com/LR_7_72_HVD_640_665_M_30_30_and_15_Scientist_BGV_03_20250313_EN_aaafec27e2.pdf
[Último acceso: 2 06 2025].

Mathur, S., 2024. *Energy management in hospitals for Sustainable Healthcare*. [En línea]
Available at: <https://www.primedeq.com/blog/energy-management-in-hospitals/>
[Último acceso: 21 05 2025].

Medical Device Academy, 2013. *IEC 60601-1 Definition of Patient Applied Parts*. [En línea]

Available at: <https://medicaldeviceacademy.com/iec-60601-1-definition-of-patient-applied-parts/>

[Último acceso: 29 05 2025].

Ministerio de vivienda y agenda urbana, 2022. *Documento Básico HE Ahorro de energía*, s.l.: s.n.

Montel, 2025. *How do wind patterns impact wind energy efficiency?*. [En línea]

Available at: <https://montel.energy/resources/blog/how-do-wind-patterns-impact-wind-energy-efficiency>

[Último acceso: 03 05 2025].

Motasem Bani Mustafa, . O., 2021. Evaluation of a battery energy storage system in hospitals for arbitrage and ancillary services. *Journal of Energy Storage*, 43(103183), p. 10.

Muhammad Aamir, K. A. K. S. M., 2016. Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 58, pp. 1395-1410.

Muhammad Aamir, . K., 2016. Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 58, p. 1396.

Naciones Unidas, 2015. *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. [En línea]

Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

[Último acceso: 22 01 2025].

navitassolar, 2025. *How to Calculate Rooftop Area Required to Install Solar Panels?*. [En línea]

Available at: <https://navitassolar.in/calculate-the-roof-top-area-required-to-install-solar-panels/>

[Último acceso: 25 06 2025].

Norouz Mahmoudi, M. S. M. G. F. H. R. Z., 2024. Environmental sustainability in hospitals: Dual analysis of electrical consumption and pollutant emissions. *Cleaner Engineering and Technology*, Volumen 19.

Núñez, A., 2025. *Distancia entre filas de paneles solares*. [En línea] Available at: <https://autoconsumoweb.es/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/> [Último acceso: 21 06 2025].

Organización Mundial de la Salud, 2023. *Mortalidad materna*. [En línea] Available at: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality?> [Último acceso: 22 01 2025].

Organización Mundial de la Salud, 2024. *Newborn mortality*. [En línea] Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/newborn-mortality?> [Último acceso: 22 01 2025].

Pabla, A. S., 2011. *Electric Power Distribution*. En: s.l.:McGrawHill.

Philipps, D. S., 2025. *Photovoltaics Report*, Freiburg: Fraunhofer ISE and Werner Warmuth.

Planas, O., 2023. *Grupos electrógenos: tipos, uso y aplicaciones*. [En línea] Available at: <https://solar-energia.net/electricidad/generacion-electricidad/grupo-electrogeno> [Último acceso: 22 03 2025].

Prof. D. Faiman, D. D. F. D. P. I. M. B. M. P. A. Z. D. A. I. D. V. L. D. I. S. D. S. S., 2000. *PV SYSTEMS FOR ISRAEL'S CITIES: HOW LARGE SHOULD THEY BE? A Design Guide*, s.l.: Ministry of National Infrastructures Research and Development Division.

Safaa Hamada, A. G., 2021. Mapping of Solar Energy Potential in the West Bank, Palestine Using Geographic Information Systems. *Papers in Applied Geography*, p. 4.

SMA, 2025. *Sunny Tripower CORE1*. [En línea] Available at: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-core1> [Último acceso: 28 06 2025].

Terpak, N., 2020. *St. Joseph's Hospital Selects Cogeneration Solution to Improve Reliability and Reduce Greenhouse Gases.* [En línea]
Available at: <https://www.districtenergy.org/viewdocument/st-josephs-hospital-selects-cogen>
[Último acceso: 15 03 2025].

U.S. Department of Energy: Better Buildings, 2025. *Valley Children's Healthcare Constructs Renewable Energy Microgrid for Energy Resilience.* [En línea]
Available at: <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/implementation-models/valley-childrens-healthcare-constructs-renewable-energy-microgrid-energy?>
[Último acceso: 11 03 2025].

U.S. Department of Energy, 2011. *Hospitals Discover Advantages to Using CHP Systems.* [En línea]
Available at: https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/alliances/hea_chp_fs.pdf
[Último acceso: 28 01 2025].

United Nations Development Programme, 2024. *Renewable energy for all: Photo voltaic cells for Gaza hospitals.* [En línea]
Available at: <https://www.undp.org/papp/projects/renewable-energy-all-photo-voltaic-cells-gaza-hospitals>
[Último acceso: 22 01 2025].

Valley Children's Healthcare, 2024. *Valley Children's garantiza la resiliencia energética con un proyecto pionero de microrredes.* [En línea]
Available at: <https://es.valleychildrens.org/news/news-story?news=1400>
[Último acceso: 28 01 2025].

Vignesh Ramasamy, D. F. J. D. a. R. M., 2021. *U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks: Q1 2021*, s.l.: ONREL.

Walton, R., 2023. *Central Valley's Only Pediatric Hospital Gaining Battery Storage Microgrid Installation.* [En línea]
Available at: <https://www.microgridknowledge.com/hospital-healthcare->

microgrids/article/33012098/central-valleys-only-pediatric-hospital-gaining-battery-storage-microgrid-installation

[Último acceso: 23 01 2025].

Weather Spark, 2025. *Climate and Average Weather Year Round in Israel*. [En línea] Available at: https://weatherspark.com/countries/IL#google_vignette [Último acceso: 04 05 2025].

Woodstock Power Company, 2025. *What are the requirements for hospital backup generators?*. [En línea] Available at: <https://woodstockpower.com/blog/what-are-the-requirements-for-hospital-backup-generators/#:~:text=Hospital%20Backup%20Generator%20Requirements%20,that%20can%20cause%20serious> [Último acceso: 07 05 2025].

WorldData, 2025. *The climate in Israel*. [En línea] Available at: <https://www.worlddata.info/asia/israel/climate.php> [Último acceso: 02 05 2025].

Zhangyu Li, D. D., 2025. Role of energy storage technologies in enhancing grid stability and reducing fossil fuel dependency. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volumen 102, pp. 1055-1074.

Zhangyu Li, ., 2025. Role of energy storage technologies in enhancing grid stability and reducing fossil fuel dependency. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volumen 102, pp. 1055-1065.