



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PROPUESTAS DE
MEJORA

Autor: Juan Rotger Llinás
Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid
Julio de 2026

Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título

Estudio de eficiencia energética y propuestas de mejora

en la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2025/2026** es de mi autoría 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.

Uso de Inteligencia Artificial¹

Declaro bajo mi responsabilidad que:

☐ No he utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento.

☒ He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la [Escala de Evaluación de Perkins et al. \(2024\)](#): “*La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente*”. En concreto, la Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

La IA ha sido empleada como herramienta de apoyo, para asentar ideas, ayudar con la investigación previa al trabajo y como herramienta de apoyo en la revisión formal del documento. La elaboración, validación y responsabilidad final del contenido corresponden al autor.

¹ Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos...)


Firmado (alumno):
Fecha: 09/07/2026

Autorización para la entrega del Proyecto

El Director del Proyecto	El co-Director del Proyecto (si aplica)
Fdo:	Fdo:
Fecha:	Fecha:



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PROPUESTAS DE
MEJORA

Autor: Juan Rotger Llinás
Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid
Julio de 2026

Agradecimientos

Agradecer enormemente el esfuerzo de mis padres porque si no fuera por ellos no podría estar redactando mi trabajo de fin de grado. Dar gracias también, por su motivación, apoyo y sus consejos en las buenas y en las malas, haciendo más ameno el camino.

En segundo lugar, dar gracias a mi director del proyecto, por ofrecerse como tutor. Así como por responder en la mayor brevedad posible cualquier duda planteada.

Gracias a la dirección y la jefatura de estudios de ICAI, por darme la oportunidad de ampliar los créditos y, de esta manera, poder matricularme al Trabajo de Fin de Grado (TFG).

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PROPUESTAS DE MEJORA

Autor: Rotger Llinás, Juan.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El presente proyecto tiene como objeto llevar a cabo un estudio de eficiencia energética en The Boc Beach Hotel Can Pastilla. Se trata de un establecimiento turístico formado por cuatro plantas ubicadas en una zona costera del municipio de Palma, en las Islas Baleares. Para ello, partiendo del análisis de consumo eléctrico real del hotel y de las condiciones físicas y climatológicas del emplazamiento, se lleva a cabo un estudio de viabilidad técnica y económica de la incorporación de un sistema de generación fotovoltaica en la cubierta del edificio.

El objetivo final de proyecto es contribuir a la reducción del consumo eléctrico del establecimiento, mejorando el comportamiento energético y generando una rentabilidad económica razonable.

Metodología

En primer lugar, se han recopilado y analizado las facturas eléctricas disponibles del hotel, correspondientes a los meses de apertura del mismo. A raíz de ello, se han extraído los datos de consumo total, consumo medio diario y precio medio de la electricidad para cada periodo de facturación.

En segundo lugar, se ha llevado a cabo un análisis del emplazamiento. Para ello, se ha recopilado información acerca de la superficie de cubierta disponible, las características del edificio y los datos climáticos de la zona. Para el estudio de irradiación solar, se ha hecho uso de la herramienta PVGIS de la Comisión Europea. Esta recopilación proporcionó los valores mensuales de irradiación global horizontal y con ángulo óptimo para la ubicación de Can Pastilla.

A continuación, se ha procedido al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, para ello se han seleccionado los módulos fotovoltaicos, el inversor y la estructura de soporte más adecuada para la situación del proyecto.

Finalmente, se ha simulado el funcionamiento del sistema incorporado mediante el software PVsyst, obteniendo la producción energética mensual y anual estimada. Además, también se han extraído los datos del rendimiento global de la instalación. A partir de ello, se ha realizado un estudio de rentabilidad energética y económica.

Resultados

Análisis de demanda eléctrica

El hotel cuenta con una potencia contratada de 43 kW en tarifa 3.0TD. Los datos de consumo registrados muestran que agosto fue el mes de mayor demanda, con 22.459 kWh, y octubre el de menor, con 12.646 kWh. El consumo medio diario se mantuvo relativamente estable entre los 601 y los 679 kWh/día, lo que refleja la continuidad de la actividad hotelera.

Periodo	Consumo total (kWh)	Consumo medio diario (kWh/día)
30/04/2026– 31/05/2026	13.913	448,81
01/06/2026– 30/06/2026	16.910	563,68
30/06/2025– 29/07/2025	19.678	678,55
29/07/2025– 31/08/2025	22.459	679,63
31/08/2025– 30/09/2025	19.218	666,9
30/09/2025– 31/10/2025	12.646	601,63

La razón de tener datos 2025 y 2026, se debe a que el hotel abrió en junio de 2025, por lo que se han buscado facturas de este mismo año para contar con los datos de todo el periodo de apertura.

Solución fotovoltaica propuesta

Contando con un espacio de $21,67 \text{ m}^2$, se han implantado un sistema formado por 10 módulos, estructurado con dos series en paralelo y un inversor. Consiste en unos módulos de la marca REC Alpha Pure-RX de 470 Wp, con una potencia de pico total de 4,7 kWp. El inversor seleccionado es un Huawei SUN2000-5KTL-M1 de 5kWca de potencia nominal. Los módulos se han instalado con una inclinación del 20° y orientación azimut 0° .

Resultados de la simulación

A través de PVsyst, se simuló una producción anual de 8.284,5 kWh, que tras las pérdidas del inversor queda en 7.909,1 kWh/año de energía útil inyectada en la red interior del hotel. El rendimiento global del sistema (PR) fue de 0,862, lo que significa que la instalación aprovecha el 86,2% del rendimiento ideal teórico.

Periodo	Generación útil (kWh)	Generación útil diaria (kWh/día)	Proporción del rendimiento
Mayo	860,7	27,76	0,86
Junio	897,8	29,93	0,847
Julio	909,3	29,33	0,842
Agosto	845,8	27,28	0,844
Septiembre	680,2	22,67	0,855
Octubre	576,2	18,59	0,866

Estudio de rentabilidad económica

La inversión total estimada para llevar a cabo la instalación asciende a 5942 €, desglosada de la siguiente manera:

Concepto	Coste total (€)
Módulos fotovoltaicos (10 ud. REC Alpha Pure-RX 470 W)	2.000,00
Inversor trifásico Huawei SUN2000-5KTL-M1	1.100,00
Estructura de soporte elevada de acero galvanizado	1.200,00
Cableado eléctrico (CC y CA)	330
Protecciones eléctricas	600
Mano de obra	700
Total, antes de impuestos	5.930,00 €
ICIO (bonificado al 95%)	12
Total, después de impuestos	5.942,00 €

El ahorro económico anual, calculado mes a mes a partir de la producción fotovoltaica y el precio real de la electricidad en cada periodo, asciende a 1.007,6 €. Esto sitúa el periodo de retorno de la inversión en 5,9 años. Resultando, en un VAN de 9.918 € y un valor de TIR del 16,04%.

Conclusiones

Los resultados finales obtenidos, confirman la viabilidad técnica y económica de la instalación fotovoltaica propuesta. El retorno obtenido, podría verse limitado, en comparación a los ingresos mensuales medios de un hotel. Sin embargo, al tratarse de un único edificio, el establecimiento tiene limitada la superficie disponible para poder implantar los módulos, por lo que un VAN positivo de 9.918€ resulta razonable.

Un factor que beneficia a la implantación fotovoltaica en el sector hotelero, es la coincidencia entre los meses de mayor producción solar y mayor actividad hotelera. Esto favorece el aprovechamiento directo de la energía generada.

Como puntos de futura mejora, podría ser recomendable el estudio de ampliabilidad de la superficie disponible del hotel. Además, también se podría evaluar la incorporación de un

sistema de almacenamiento mediante baterías que permitiría optimizar el uso de la energía producida en las horas de mayor irradiación.

Referencias

- **PVGIS.** *Datos mensuales de irradiación para Palma de Mallorca.* Photovoltaic Geographical Information System, Comisión Europea. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/.
- **PVsyst SA.** *PVsyst Photovoltaic Software.* Disponible en: <https://www.pvsyst.com/>.
- **Real Decreto 244/2019, de 5 de abril**, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *BOE* núm. 83, de 6 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>.
- **Ajuntament de Palma.** *Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO) / Licencia tributaria de obras.* Disponible en: <https://seuelectronica.palma.cat/documents/39058/12929829/Ordenanza+fiscal+reguladora+del+Impuesto+sobre+construcciones%2C+instalaciones+y+obras+-+Concepto+282%2C00.pdf/36bd2235-762a-7bb5-6d44-b28ff99a0b2a?t=1683192287606> .

ENERGY EFFICIENCY STUDY AND IMPROVEMENT PROPOSALS

Author: Rotger Llinás, Juan.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

Introduction

The purpose of this project is to carry out an energy efficiency study at The Boc Beach Hotel Can Pastilla. This is a tourist establishment consisting of four floors located in a coastal area of the municipality of Palma, in the Balearic Islands. To this end, based on the analysis of the hotel's actual electricity consumption and the physical and climatic conditions of the site, a technical and economic feasibility study is carried out for the incorporation of a photovoltaic generation system on the building's roof.

The ultimate goal of the project is to contribute to the reduction of the establishment's electricity consumption, improving its energy performance and generating a reasonable economic return.

Methodology

First, the available electricity bills of the hotel, corresponding to the months of operation, were collected and analysed. From these, data on total consumption, average daily consumption and average electricity price for each billing period were extracted.

Second, a site analysis was carried out. Information was gathered on the available roof surface area, the characteristics of the building and the climatic data of the area. For the solar irradiation study, the PVGIS tool of the European Commission was used. This provided monthly values of global horizontal irradiation and irradiation at the optimal angle for the Can Pastilla location.

Subsequently, the photovoltaic system was sized. To this end, the most suitable photovoltaic modules, inverter and support structure were selected according to the specific conditions of the project.

Finally, the operation of the incorporated system was simulated using PVsyst software, obtaining the estimated monthly and annual energy production. In addition, data on the overall performance of the installation were also extracted. Based on these results, an energy and economic profitability study was carried out.

Results

Analysis of electricity demand

The hotel has a contracted power of 43 kW under the 3.0TD tariff. The recorded consumption data show that August was the month of highest demand, with 22,459 kWh, and October the lowest, with 12,646 kWh. The average daily consumption remained relatively stable between 601 and 679 kWh/day, reflecting the continuous nature of hotel activity.

Period	Total consumption (kWh)	Average daily consumption (kWh/day)
30/04/2026–31/05/2026	13.913	448,81
01/06/2026–30/06/2026	16.910	563,68
30/06/2025–29/07/2025	19.678	678,55
29/07/2025–31/08/2025	22.459	679,63
31/08/2025–30/09/2025	19.218	666,9
30/09/2025–31/10/2025	12.646	601,63

The reason for using data from both 2025 and 2026 is that the hotel opened in June 2025. Therefore, invoices from the current year have also been used in order to cover the entire operating period of the hotel.

Proposed photovoltaic solution

With an available surface area of 21.67 m², a system consisting of 10 modules has been implemented, structured with two series in parallel and one inverter. The modules are REC Alpha Pure-RX 470 Wp, with a total peak power of 4.7 kWp. The selected inverter is a Huawei SUN2000-5KTL-M1 with a nominal power of 5 kWac. The modules have been installed with a tilt of 20° and an azimuth orientation of 0°.

Simulation results

Through PVsyst, an annual production of 8,284.5 kWh was simulated, which after inverter losses results in 7,909.1 kWh/year of useful energy injected into the hotel's internal grid. The overall system performance ratio (PR) was 0.862, meaning that the installation achieves 86.2% of the theoretical ideal performance.

Period	Useful energy output (kWh)	Daily useful energy output (kWh/day)	Performance Ratio
May	860,7	27,76	0,86
June	897,8	29,93	0,847
July	909,3	29,33	0,842
August	845,8	27,28	0,844
September	680,2	22,67	0,855
October	576,2	18,59	0,866

Economic profitability study

The total estimated investment required to carry out the installation amounts to €5.942, broken down as follows:

Concept	Total Cost(€)
Photovoltaic modules (10 units REC Alpha Pure-RX 470 W)	2.000,00
Three-phase inverter Huawei SUN2000-5KTL-M1	1.100,00
Elevated galvanized steel support structure	1.200,00
Electrical wiring (DC and AC)	330
Electrical protections	600
Labour	700
Total, before taxes	5.930,00 €
ICIO (95% tax relief applied)	12
Total, after taxes	5.942,00 €

The annual economic saving, calculated month by month based on the photovoltaic production and the actual electricity price in each period, amounts to €1,007,6. This places the investment payback period at 5.9 years. Resulting in an NPV of €9,918 and an IRR of 16.04%.

Conclusions

The final results obtained confirm the technical and economic viability of the proposed photovoltaic installation. The return obtained may seem limited compared to the average monthly revenue of a hotel. However, since it is a single building, the establishment has a restricted available surface area for the installation of the modules, therefore, a positive NPV of €9,918 is considered reasonable.

One factor that benefits the implementation of photovoltaic systems in the hotel sector is the coincidence between the months of highest solar production and highest hotel activity. This favours the direct use of the energy generated.

As future improvement points, it could be advisable to study the possibility of expanding the available surface area of the hotel. In addition, the incorporation of a battery storage system could also be evaluated, which would optimise the use of the energy produced during peak irradiation hours.

References

- **PVGIS.** Monthly irradiation data for Palma de Mallorca. Photovoltaic Geographical Information System, European Commission. Available at: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- **PVsyst SA.** *PVsyst Photovoltaic Software.* Available at: <https://www.pvsyst.com/>.
- **Royal Decree 244/2019, of 5 April,** regulating the administrative, technical and economic conditions for electricity self-consumption. Official State Gazette (BOE) no. 83, 6 April 2019. Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>.
- **Ajuntament de Palma.** Tax on Constructions, Installations and Works (ICIO) / Tax licence for works. Available at: <https://seuelectronica.palma.cat/documents/39058/12929829/Ordenanza+fiscal+reguladora+del+Impuesto+sobre+construcciones%2C+instalaciones+y+obras+-+Concepto+282%2C00.pdf/36bd2235-762a-7bb5-6d44-b28ff99a0b2a?t=1683192287606>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción y planteamiento del proyecto.....	29
1.1 Introducción	29
1.2 Estado de la cuestión	30
1.3 Motivación y objetivos del proyecto	31
1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	32
1.5 Metodología de trabajo	33
1.6 Cronograma de las actividades.....	34
1.7 Recursos a emplear	35
Capítulo 2. Descripción de las tecnologías.....	37
2.1 Módulos fotovoltaicos	37
2.2 Inversor	39
2.3 Estructura de soporte	40
2.4 Cableado eléctrico.....	41
2.5 Protecciones eléctricas	42
2.6 Cuadro eléctrico y puntos de conexión.....	42
2.7 Sistema de monitorización	43
Capítulo 3. Descripción del modelo desarrollado	45
3.1 Datos de partida	45
3.1.1 Análisis de la demanda eléctrica.....	45
3.1.2 Emplazamiento	50
3.1.3 Datos climáticos	52
3.2 Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica.....	56
3.2.1 Número de módulos y potencia instalada.....	56
3.2.2 Orientación adaptada	57
3.2.3 Selección del inversor óptimo	59
3.3 Simulación del sistema fotovoltaico en PVsyst	61
3.3.1 Objeto de la simulación.....	61
3.3.2 Configuración en el programa	61
Capítulo 4. Resultados de la simulación	65
4.1 Producción energética mensual y anual estimada	65

4.2	Rendimiento del sistema	67
4.3	Comparación con la demanda del hotel	70
Capítulo 5. Estudio económico		75
5.1	Hipótesis económicas de partida	75
5.2	Coste estimado de la instalación.....	76
5.3	Coste total de la instalación	83
5.4	Análisis de rentabilidad económica	84
Capítulo 6. Conclusiones		89
6.1	Conclusiones técnicas.....	89
6.2	Conclusiones energéticas	90
6.3	Conclusiones económicas.....	91
6.4	Futuros trabajos	92
Capítulo 7. Bibliografía.....		93

Índice Ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de Gantt actividades	34
Ilustración 2. Gráfica representativa de energía suministrada en función de la hora.....	38
Ilustración 3. Módulo fotovoltaico REC Apha Pure-RX 470 W	39
Ilustración 4. Alzado de la estructura de soporte elevada	41
Ilustración 5. Coste eléctrico mensual registrado	48
Ilustración 6. Consumo eléctrico mensual registrado	49
Ilustración 7. Consumo medio diario por mes registrado	49
Ilustración 8. Localización del hotel en Can Pastilla	50
Ilustración 9. Alzado del edificio.....	51
Ilustración 10. Planta del edificio	51
Ilustración 11. Gráfica irradiación mensual	54
Ilustración 12. Diagrama de recorridos solares en la ubicación establecida.....	57
Ilustración 13. Factor de transposición en función de la inclinación/orientación del plano	58
Ilustración 14. Representación de la inclinación y orientación de los paneles	58
Ilustración 15. Inversor SUN 2000-5KTL-M1	60
Ilustración 16. Coordenadas geográficas del establecimiento	62
Ilustración 17. Mapa interactivo de la zona del establecimiento	62
Ilustración 18. Orientación e inclinación de los paneles.....	63
Ilustración 19. Definición del sistema de red.....	63

Ilustración 20. Gráfica de producción y pérdidas por Wp instalado	66
Ilustración 21. Gráfica de factores de producción y de pérdidas	68
Ilustración 22. Diagrama de pérdidas detallado	69
Ilustración 23. Gráfica comparativa de generación y consumo eléctrico mensual	71
Ilustración 24. Gráfica representativa de la producción mensual	73

Índice tablas

Tabla 1. Características técnicas del módulo REC Alpha Pure-RX 470W.....	38
Tabla 2. Resumen de consumos eléctricos.....	46
Tabla 3. Resumen económico de facturación eléctrica.....	47
Tabla 4. Resumen de temperaturas en 2025	52
Tabla 5. Resumen de nubosidad en 2025.....	53
Tabla 6. Resumen irradiación global horizontal mensual.....	55
Tabla 7. Resumen irradiación global angular mensual.....	55
Tabla 8. Tabla de balances y resultados de la simulación.....	65
Tabla 9. Periodo Generación útil (kWh).....	66
Tabla 10. Tabla de proporción de rendimiento mensual y anual	67
Tabla 11. Tabla comparativa de consumo y generación anual	71
Tabla 12. Tabla comparativa de consumo y generación anual	72
Tabla 13. Tabla de resumen energético y de cobertura.....	74
Tabla 14. Estimación económica de los módulos fotovoltaicos	76
Tabla 15. Estimación económica del inversor	77
Tabla 16. Estimación económica de la estructura de soporte	78
Tabla 17. Estimación económica del cableado eléctrico	79
Tabla 18. Estimación económica de las protecciones eléctricas.....	80

Tabla 19. Estimación económica del montaje e instalación	82
Tabla 20. Resumen económico global de la instalación	83
Tabla 21. Porcentaje de cobertura y ahorro económico estimado	84

Índice ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo del consumo medio diario.....	47
Ecuación 2. Cálculo del precio medio de la factura.....	48
Ecuación 3. Cálculo de Perfomance Ratio.....	68
Ecuación 4. Cálculo del porcentaje de rentabilidad.....	72
Ecuación 5. Cálculo del periodo simple de retorno	85
Ecuación 6. Cálculo del Valor Actual Neto	86
Ecuación 7. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno	86

Capítulo 1. Introducción y planteamiento del proyecto

1.1 Introducción

En la situación actual, la eficiencia energética se ha vuelto un punto totalmente imprescindible, a tener en cuenta, a la hora de cualquier desarrollo o reforma de una infraestructura. Una buena eficiencia, supone, no solo un gran ahorro económico, sino también un aporte positivo al medio ambiente. Todos estos aspectos, son especialmente importantes en el mundo del sector hotelero. El alto consumo de potencia, hace que haya un gran margen de mejora y optimización.

La demanda eléctrica en este sector es muy elevada, especialmente en los periodos de alta ocupación. En destinos turísticos como Palma de Mallorca, este factor coincide con meses de elevada disponibilidad de radiación solar, lo que potencia el interés del autoconsumo fotovoltaico como medida de mejora energética.

Por ello, el presente Trabajo de Fin de Grado, tiene como objeto la realización de un estudio de eficiencia energética, aplicado a Boc Beach Hotel Can Pastilla. Un hospedaje turístico ubicado en zona costera de Palma de Mallorca, Islas Baleares.

En concreto, partiremos de los datos de consumos pertenecientes a los últimos meses. Junto a estos documentos, contaremos con los planos del recinto. Con todo ello, llevaremos a cabo un estudio de viabilidad técnica y económica de la incorporación de un sistema de generación fotovoltaica, aprovechando la elevada radiación solar de la ubicación, sobre todo, en temporada altamente turística.

Para poder realizar la mejora buscada, habrá que evaluar la compatibilidad de la producción fotovoltaica con los perfiles de demanda eléctrica. Se buscará las dimensiones disponibles y óptimas para el desarrollo de las placas, así como los tipos de paneles adecuados.

De forma complementaria, el trabajo persigue varios objetivos específicos. En primer lugar, analizar el consumo energético del hotel a partir de la documentación disponible. En segundo lugar, estudiar la viabilidad de implantar un sistema fotovoltaico adaptado a las condiciones reales del edificio. Asimismo, se pretende estimar la producción energética esperada de la instalación, valorar su integración técnica y evaluar su repercusión económica sobre el consumo eléctrico del establecimiento.

Finalmente, se presentarán las propuestas de mejoras energéticas consideradas, acompañada del estudio de viabilidad técnica, energética y económica. También, se mostrarán los resultados de consumo esperados para los próximos meses, acompañado de un análisis final de

rentabilidad. De esta forma, se busca apoyar el desarrollo de BOC Beach Hotel Can Pastilla, contribuyendo a alcanzar sus objetivos económicos a largo plazo.

1.2 Estado de la cuestión

El sector hostelero, se caracteriza por un consumo energético muy elevado, sobre todo en temporada alta. Dentro del consumo energético total, destaca la electricidad, la cual ocupa la mayor parte. Usada, sobre todo para la iluminación, climatización, cocina y otros servicios auxiliares. Las diferentes fuentes de consumo presentes en alojamientos turísticos, crean un sistema con un gran margen de mejora a nivel económico y energético.

Hoy en día prevalecen las energías renovables como principal fuente de energía. Entre ellas, destaca la solar fotovoltaica. Además, la temporada de mayor ocupación y demanda energética en el sector hotelero, en concreto el costero, coincide con los meses de mayor irradiación solar, maximizando el provecho de la energía generada.

Sin embargo, según un artículo publicado por TecnoHotel a partir de un informe de ECO-ONE, tan solo el 10% de los hoteles hace uso de energías sostenibles. Se estima que, de los gastos totales anuales de un hotel, entre el 14% y 15%, se deben al consumo energético pudiendo aumentar a un 25% en situaciones de alta demanda.

El autoconsumo solar, se valora que podría suponer un ahorro energético de entre 50% y 70%, en función de, entre otras, la ubicación del establecimiento. Por esa razón, en nuestro caso, sería más próxima al 70%, ya que en Mallorca el porcentaje de días mayormente despejados es del 74%.

Dicho ahorro, reflejado en el precio, supondría un ahorro del 6% de los gastos totales de un hotel, anualmente.

A nivel técnico, el sector hotelero presenta una serie de características que lo convierten en un ámbito especialmente adecuado para la implantación de medidas de eficiencia energética. Se trata de edificios con un funcionamiento continuo, elevada ocupación en determinados periodos del año y una presencia de consumos simultáneos asociados a necesidades como la climatización, iluminación, ventilación, cocina, lavandería y servicios generales. Todo ello da lugar a una demanda eléctrica significativa y relativamente constante, lo que hace especialmente interesante el estudio de soluciones para la futura reducción del consumo procedente de la red.

Dentro de las distintas soluciones disponibles, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las alternativas más interesantes para edificios terciarios. Esto se debe, por un lado, a que se trata de una tecnología ya muy desarrollada y ampliamente implantada y, por otro, a que sus costes de instalación se han ido reduciendo progresivamente en los últimos años.

La aplicación de esta tecnología en cubiertas, permite sacar rentabilidad a superficies, que, si no fuera por ello, no serían lugar de provecho. Además, al tratarse de un sistema basado en la unión de módulos, permite su adaptación a distintos tamaños y particularidades constructivas de cada edificio.

Por otro lado, la implantación de sistemas fotovoltaicos, no solo contribuye a reducir el gasto energético del edificio, sino también supone un aporte a la problemática medio ambiental. Al reducir la dependencia de la red e, indirectamente, las emisiones asociadas al consumo eléctrico convencional, se logra una mejora con interés tanto técnico como social.

Por todo ello, el estudio de la viabilidad de una instalación fotovoltaica en un hotel, no debe entenderse como una propuesta irrelevante, sino como una respuesta coherente a una tendencia de crecimiento de energías renovables en edificios con una elevada demanda energética. En consecuencia, el proyecto se enmarca dentro de una línea de actuación cada vez más relevante, orientada a mejorar la eficiencia, reducir costes de explotación y avanzar hacia un modelo de funcionamiento más sostenible.

1.3 Motivación y objetivos del proyecto

La motivación para este proyecto, nace de una sensación personal de desaprovechamiento de la elevada irradiación solar en Mallorca. A ello, juntamos el interés por realizarlo dentro del sector hotelero, donde los periodos de mayor ocupación, coinciden con los meses de mayor producción solar, lo que permite rentabilizar, aún más, el autoconsumo de la energía generada.

En los últimos años, se ha podido observar un aumento desmesurado en el precio de la electricidad en España. Este hecho, crea una necesidad de implantar soluciones al consumo de energía, resultando especialmente relevante y necesario en el sector turístico, donde se observa

un gran consumo energético debido al funcionamiento continuo de los sistemas de climatización, iluminación y otros servicios.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es organizar, planear y llevar a cabo una simulación de aplicación de placas fotovoltaicas en la cubierta del hotel: Boc Beach Hotel Can Pastilla. El fin del proyecto, es demostrar energéticamente y económicamente, la rentabilidad de las energías verdes en el sector hotelero, en concreto en el hotel escogido. Para ello, he establecido diversos objetivos específicos:

- Analizar el consumo energético del hotel, haciendo uso de la documentación pertinente.
- Plantear una distribución de paneles óptima para rentabilizar los gastos energéticos.
- Estimar la producción energética anual.
- Asegurarse de su correcta implantación de cara a la ley.
- Realizar un estudio final de rentabilidad energética y económica, y mostrar los resultados obtenidos.

1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este trabajo corresponde con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esto es debido a que busca abordar, entre otras cosas, problemas con el medio ambiente.

En primer lugar, se corresponde con el objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. Se corresponde ya que busca el cuidado del medio ambiente, haciendo uso de energías verdes y limpias, como es la fotovoltaica. Nos veríamos reflejados como una empresa que hace un esfuerzo por mantener y proteger los ecosistemas.

Consiguiente al objetivo 7, el 11. Con las reformas a realizar, se da un ejemplo a la sociedad de formas de mejora, en contra de la contaminación. Pudiendo servir de inspiración para el resto de hoteles, barrios, ciudades; mostrando el camino hacia un desarrollo responsable.

El proyecto también se alinea con el objetivo 13. El uso de energía fotovoltaica contribuye a la reducción de gases, disminuyendo la demanda de energía de la red y colaborando, por tanto, con la lucha contra el cambio climático.

En resumen, el trabajo propuesto, daría lugar al cumplimiento de varios objetivos relacionados con el cuidado del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático. Esto es gracias a su eficiencia y ahorro de energía con la implantación de los respectivos paneles.

1.5 Metodología de trabajo

La metodología que se empleará, consistirá en un estudio analítico y técnico de la incorporación de los paneles fotovoltaicos. Los pasos a seguir, se estructuran de la siguiente manera:

En primer lugar, se buscará y se recopilará información que nos ayude a identificar el consumo habitual del alojamiento, las características del centro y documentación de las dimensiones ocupadas y disponibles para edificar.

Después de un análisis exhaustivo de la documentación, basándose en los periodos de demanda y la irradiación solar disponible, se diseñará el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica óptimo para maximizar el autoconsumo de energía, siempre cumpliendo con la viabilidad técnica.

Posteriormente, se simulará el funcionamiento de los paneles incorporados obteniendo una estimación de la producción energética anual. Este análisis permitirá cuantificar el impacto de la instalación diseñada.

Finalmente, se llevará a cabo un estudio económico y de impacto ambiental. A partir de ello, sacaremos una conclusión de rentabilidad y cuidado contra la contaminación.

1.6 Cronograma de las actividades

Actividad	oct-25	nov-25	dic-25	ene-26	feb-26	mar-26	abr-26	may-26	jun-26	jul-26
Recopilación de documentación técnica										
Recopilación de facturas energéticas										
Estudio de superficie disponible y planificación										
Dimensionamiento de la instalación										
Diseño y simulación del sistema fotovoltaico en software										
Análisis de resultados de la simulación, a nivel energético, económico y ambiental										
Estudio de rentabilidad económica										
Redacción de la memoria del Trabajo Fin de Grado										
Revisión final y preparación para entrega										

Ilustración 1. Diagrama de Gantt actividades

Fuente: Elaboración propia

1.7 Recursos a emplear

Para la realización del trabajo, se hará uso de diversos recursos, facturas y software de diseño.

Contaremos con documentación con memoria técnica del edificio y descripción de las instalaciones. También contamos con las mediciones y planos de edificación que nos ayudarán a examinar donde se puede llevar a cabo la incorporación de los paneles.

Por otro lado, se dispondrá de las facturas energéticas de estos últimos meses, desde el mes de julio de 2025 que empezó a estar activo el hotel. Esta documentación es imprescindible para poder tener a mano los datos reales de consumo y posteriormente poder llevar a cabo un estudio de mejora de eficiencia energética.

También se hará uso del software PVsyst, que permitirá diseñar, modelizar y evaluar mediante una simulación real del comportamiento de la instalación solar fotovoltaica. Este programa nos permite estimar la producción eléctrica anual, la producción mensual y el rendimiento del sistema. Para ello, se basa en la localización geográfica, la radiación solar correspondiente, la distribución y la orientación de los paneles.

Las hojas de cálculo o Excel, ayudarán a realizar los cálculos pertinentes de manera rápida y eficaz. También, nos permitirán sacar gráficas a partir de los datos obtenidos, reflejando los resultados más claros visualmente.

Por último, el desarrollo del proyecto cuenta con diversos recursos humanos:

- El autor del Trabajo Fin de Grado, responsable de seguir todas las pautas para obtener el resultado final.
- El tutor académico, supervisor y orientador del trabajo.
- Personal, ingenieros y arquitectos que han facilitado la información y documentación necesaria para realizar el análisis energético.

Capítulo 2. Descripción de las tecnologías

La instalación solar fotovoltaica propuesta para el hotel, está compuesta por un conjunto de elementos cuya misión es captar la radiación solar, transformarla en energía eléctrica y adoptarla para su aprovechamiento en la red interior del edificio. Es imprescindible la correcta elección de dichos elementos, garantizando su viabilidad técnica y buscando el mayor rendimiento posible de la instalación.

En el presente trabajo, toda elección realizada, se ha hecho teniendo en cuenta todas las características imprescindibles: superficie de cubierta disponible, condiciones climáticas en el emplazamiento correspondiente, demanda eléctrica del hotel y disponibilidad en el software PVsyst para la posterior simulación.

2.1 Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos son los elementos principales del sistema a implantar. Son los encargados de transformar la energía solar incidente en energía eléctrica, en corriente continua. Para la elección de los módulos, se han considerado diferentes parámetros, entre los que destacan, la potencia nominal, la eficiencia, las dimensiones, el coeficiente de temperatura y el peso.

La relación entre el espacio disponible y la potencia de los módulos, resulta de elevada importancia, ya que es la base de un sistema de gran eficiencia energética.

Al tratarse de un hotel en Palma de Mallorca, las condiciones climáticas resultan imprescindibles a tener en cuenta. Implica elevadas temperaturas a lo largo de gran parte del año, la exposición a elevadas temperaturas y un ambiente salino, debido a la ubicación en una zona costera.

Considerando todas las variables influyentes, se ha optado por elegir el módulo REC Alpha Pure-RX 470 W, entre otras cosas, por su disponibilidad en programa de PVsyst.

Parámetro	Valor
Modelo	REC Alpha Pure-RX 470 W
Potencia nominal	470 W
Eficiencia del módulo	22,60%
Dimensiones	1728 × 1205 × 30 mm
Peso	22,7 kg
Coefficiente de temperatura de potencia	-0,24 %/°C
Garantía de producto	25 años

Tabla 1. Características técnicas del módulo REC Alpha Pure-RX 470W

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha técnica de REC

More energy from dawn to dusk

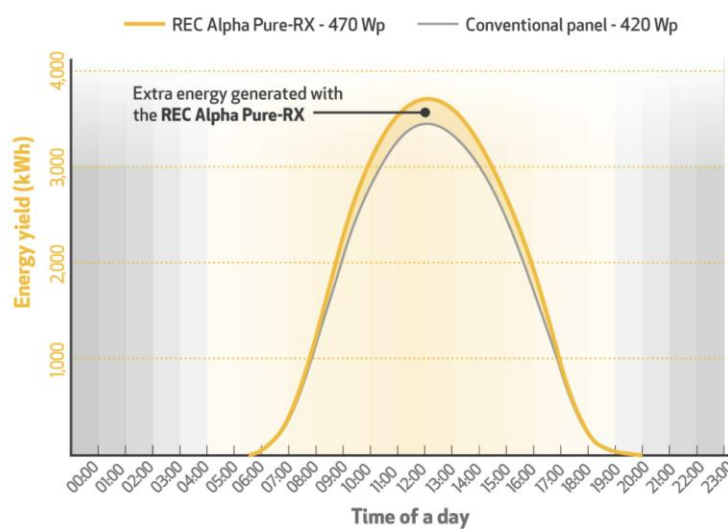


Ilustración 2. Gráfica representativa de energía suministrada en función de la hora

Fuente: REC Group, ficha informativa del módulo REC Alpha Pure-RX.

Al tratarse de una cubierta con el espacio limitado, resulta fundamental una gran eficiencia del módulo, para maximizar la producción eléctrica por unidad de superficie.

En segundo lugar, se ha tenido en cuenta el emplazamiento climático del proyecto. El hotel se sitúa en Can Pastilla, en una zona costera. Por ese motivo, se ha considerado especialmente relevante, elegir un panel con un buen comportamiento térmico, de manera que la pérdida de rendimiento provocada por el aumento de temperatura, sea lo más reducida posible.

Esta elección se justifica por presentar una combinación adecuada de potencia nominal, alta eficiencia y coeficiente de temperatura favorable.



Ilustración 3. Módulo fotovoltaico REC Alpha Pure-RX 470 W

Fuente: REC Group, ficha informativa del módulo REC Alpha Pure-RX.

2.2 Inversor

El inversor es el equipo encargado de convertir la corriente continua, generada por los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna, apta para su utilización en la instalación eléctrica del edificio. Se trata de uno de los componentes esenciales del sistema, ya que permite que la energía producida por los paneles pueda ser utilizada

directamente por los consumos del edificio, integrada a la red interna del establecimiento.

Además, desempeña otras funciones esenciales para el correcto funcionamiento del sistema. Permite llevar el control de la producción eléctrica mediante la supervisión de los diferentes parámetros. También incluye la gestión de determinadas protecciones del sistema. En consecuencia, no se trata únicamente de un elemento de enlace entre los paneles y la red interior, sino de un componente clave para garantizar la eficiencia, estabilidad y seguridad de la instalación.

La elección del inversor debe realizarse en todo momento, teniendo en cuenta la configuración adoptada para el sistema fotovoltaico. Se buscará una solución equilibrada entre la potencia instalada y la capacidad de conversión del equipo.

Resulta especialmente importante evitar tanto un sobredimensionamiento excesivo del inversor como una infra dimensión del mismo. Por un lado, podría provocar una baja optimización desde el punto de vista técnico y económico. Por otro lado, un inversor excesivamente pequeño, podría limitar la conversión de la energía generada en determinados periodos de alta irradiación solar.

2.3 Estructura de soporte

En este proyecto, la disposición de los módulos fotovoltaicos en la cubierta presenta un condicionante. Sobre la cubierta está instalado un recuperador de ventilación, impidiendo colocar paneles directamente sobre la zona. Para resolverlo, se plantea una estructura elevada, paralela a la cubierta que permita salvar ese espacio ocupado.

La estructura en cuestión se diseñará a una altura de dos metros, liberando el espacio suficiente para que una persona puede maniobrar y circular por debajo de ella, sobre la cubierta. Sobre esta incorporación, se instalarán los módulos fotovoltaicos.

Disponer los paneles fotovoltaicos sobre una estructura, permite la ventilación por su parte trasera, lo cual ayuda a mejorar su rendimiento.

En cuanto a material utilizado, se propone una estructura principal de acero galvanizado en caliente. La elección se justifica por la necesidad de disponer de un sistema estructural con suficiente rigidez para soportar el peso de los módulos fotovoltaicos, así como la acción del viento. El galvanizado en caliente, proporciona una protección adicional frente a la corrosión, aspecto especialmente relevante en una zona costera de Palma de Mallorca, expuesta a unas condiciones ambientales agresivas.

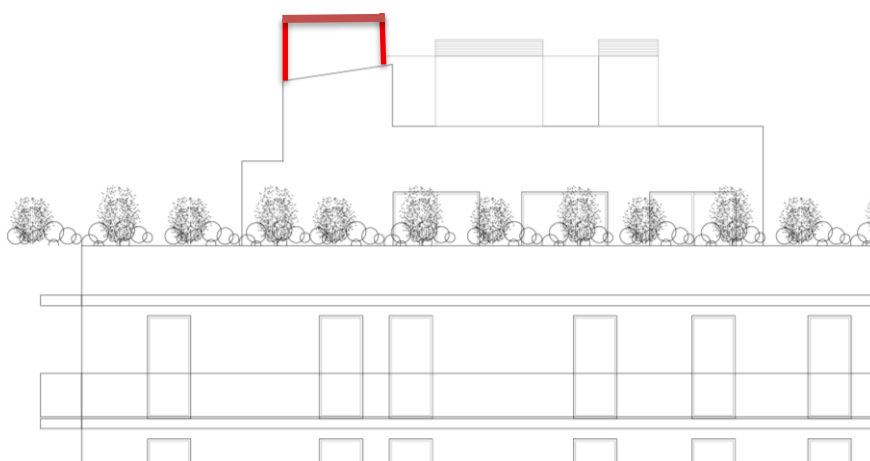


Ilustración 4. Alzado de la estructura de soporte elevada

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación gráfica del edificio.

2.4 Cableado eléctrico

El cableado eléctrico permite la conexión entre los diferentes elementos del sistema fotovoltaico. En el lado de corriente continua, interconecta los módulos formando las series, conduciendo posteriormente la energía producida al inversor. Por otro lado, en el lado de corriente alterna, la instalación se conecta con el cuadro eléctrico del edificio para su aprovechamiento en los consumos del hotel.

Aunque a simple vista no parezca un elemento esencial, es imprescindible su correcta elección para limitar pérdidas eléctricas, asegurar la seguridad de funcionamiento y cumplir las exigencias técnicas de la instalación.

2.5 Protecciones eléctricas

Toda la instalación debe disponer de un conjunto de protecciones destinadas a garantizar la seguridad de las personas, de los equipos y de la propia red eléctrica del edificio.

Estas protecciones, son una medida de seguridad contra sobreintensidades, sobretensiones, cortocircuitos, fallos de aislamiento y otras incidencias de origen eléctrico. Entre ellas, se incluyen los dispositivos de seccionamiento, fusibles, magnetotérmicos, diferenciales y sistemas de protección contra sobretensiones, entre otros.

2.6 Cuadro eléctrico y puntos de conexión

La energía generada en una instalación fotovoltaica, debe integrarse en la red interior del hotel a través de un cuadro eléctrico y los respectivos puntos de conexión. Permite canalizar la energía producida hacia los consumos del edificio.

En una instalación destinada a reducir el consumo eléctrico de un edificio, este componente adquiere un papel fundamental, ya que da lugar a un aprovechamiento instantáneo de la energía en los distintos puntos de consumos del establecimiento.

2.7 Sistema de monitorización

El sistema de monitorización, permite registrar y supervisar el funcionamiento de la instalación fotovoltaica. Es la clave para la detección de incidencias, el control de generación y el análisis del rendimiento global del sistema.

Aporta un importante valor añadido desde el punto de vista de la explotación y mantenimiento del hotel. En el sector hotelero, donde el consumo es continuo y la eficiencia tomar un papel importante, disponer de un sistema de seguimiento puede facilitar el ahorro obtenido y la evaluación del comportamiento real de la instalación.

Capítulo 3. Descripción del modelo desarrollado

3.1 Datos de partida

3.1.1 Análisis de la demanda eléctrica

Se ha llevado a cabo la recopilación y análisis de las facturas energéticas disponibles del suministro del hotel. Esta fase resulta fundamental en el desarrollo del trabajo, ya que permite disponer de datos reales de consumo y coste. Posteriormente, al desarrollar el sistema en el software PVsyst, nos basaremos en dichos datos para el estudio de rentabilidad en base a la simulación obtenida.

En el presente proyecto, se dispone de los datos correspondientes a los cinco meses de apertura del hotel. Los datos disponibles resultan suficientemente representativos para obtener una primera aproximación al perfil de consumo del hotel, ya que se corresponden con meses de actividad relevantes desde el punto de vista turístico, energético y económico.

Las facturas analizadas se corresponden al mismo suministro eléctrico. Cuenta con una potencia contratada de 43 kW en los seis periodos tarifarios (P1-P6), dentro de la tarifa 3.0TD. Los periodos de facturación disponibles abarcan desde el 30 de junio de 2025 hasta el 31 de octubre de 2025 y del 30 de abril de 2026 al 30 de junio de 2026, siendo el mes de agosto el de más consumo y octubre el de menor consumo. La razón de tener facturas de 2025 y 2026, se debe a que el hotel abrió en junio de 2025, por lo que se han buscado facturas de este mismo año para contar con los datos de todo el periodo de apertura.

A partir de las correspondientes facturas, se han extraído las variables necesarias para el estudio. Esta información se ha organizado posteriormente en una hoja de cálculo Excel, con el fin de facilitar su tratamiento y representación gráfica.

Tablas extracto de consumos:

Periodo	Consumo total (kWh)	Consumo medio diario (kWh/día)
30/04/2026– 31/05/2026	13.913	448,81
01/06/2026– 30/06/2026	16.910	563,68
30/06/2025– 29/07/2025	19.678	678,55
29/07/2025– 31/08/2025	22.459	679,63
31/08/2025– 30/09/2025	19.218	666,9
30/09/2025– 31/10/2025	12.646	601,63

Tabla 2. Resumen de consumos eléctricos

Fuente: elaboración propia a partir de las facturas eléctricas analizadas

El consumo medio diario se ha calculado de la siguiente manera:

$$C_{\text{medio diario}} = \frac{C_{\text{total periodo}}}{n \text{ días}}$$

Ecuación 1. Cálculo del consumo medio diario

Periodo	Días	Importe total (€)	Base imponible (€)	IVA (€)	Precio medio factura (€/kWh)
30/04/2025–31/05/2026	31	2.793,04	2.308,30	484,74	0,2007
01/06/2025–30/06/2026	30	3.385,61	2.798,02	587,58	0,2002
30/06/2025–29/07/2025	29	4.224,63	3.491,43	733,2	0,2147
29/07/2025–31/08/2025	33	4.970,50	4.107,85	862,65	0,2213
31/08/2025–30/09/2025	30	4.007,13	3.311,68	695,45	0,2085
30/09/2025–31/10/2025	31	2.851,21	2.356,37	494,84	0,2255
Total	184,00	22.232,12	18.373,65	3.858,46	

Tabla 3. Resumen económico de facturación eléctrica

Fuente: elaboración propia a partir de las facturas eléctricas analizadas

El precio medio mensual de la factura, se ha calculado de esta forma:

$$P \text{ medio factura} = \frac{\text{Importe total factura}}{\text{Consumo total}}$$

Ecuación 2. Cálculo del precio medio de la factura

Graficas de consumos:

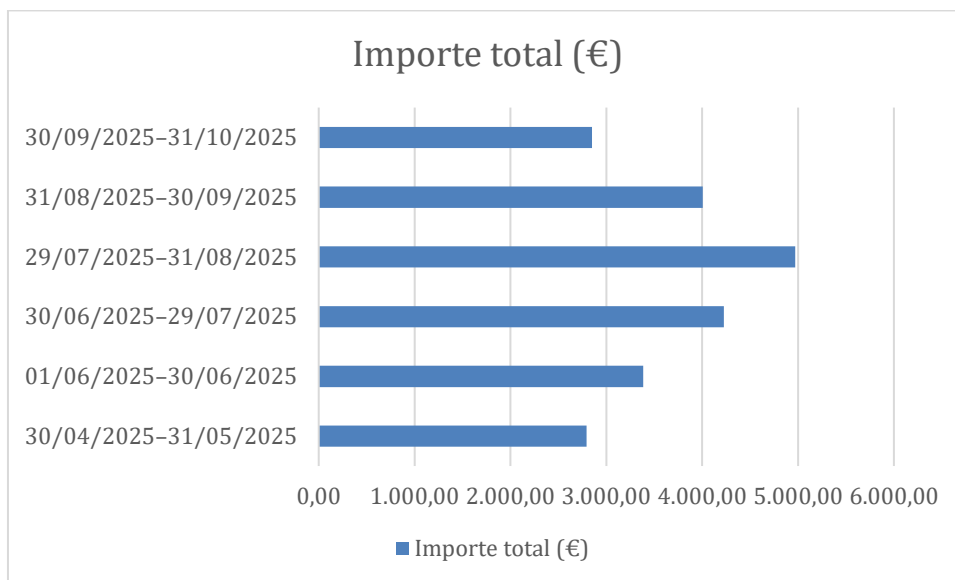


Ilustración 5. Coste eléctrico mensual registrado

Fuente: elaboración propia a partir de las facturas eléctricas analizadas

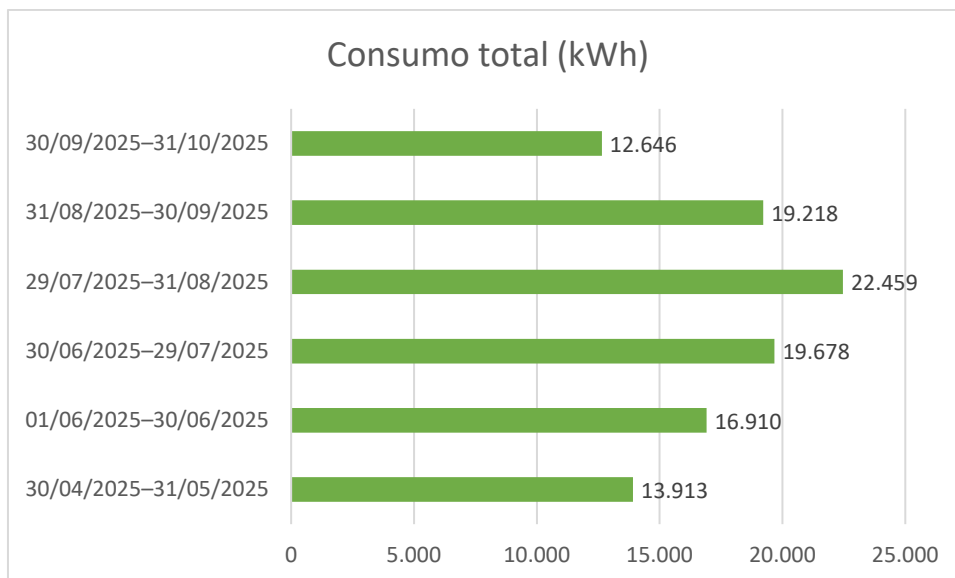


Ilustración 6. Consumo eléctrico mensual registrado

Fuente: elaboración propia a partir de las facturas eléctricas analizadas

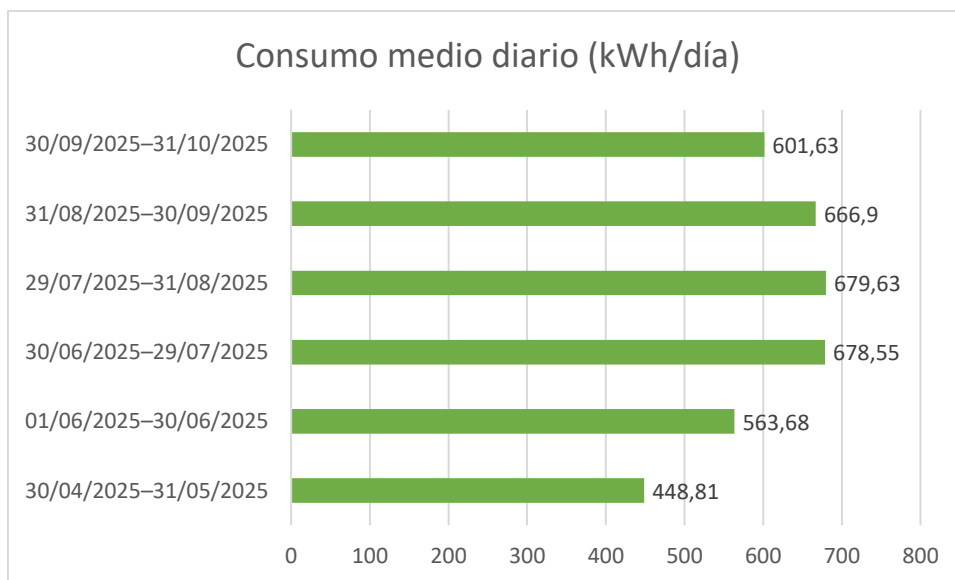


Ilustración 7. Consumo medio diario por mes registrado

Fuente: elaboración propia a partir de las facturas eléctricas analizadas

3.1.2 Emplazamiento

El proyecto toma como emplazamiento el edificio en el que se encuentra el hotel Boc Hotel Can Pastilla, un establecimiento turístico ubicado en Can Pastilla, en el municipio de Palma, Islas Baleares. Se trata de un hotel ubicado en una zona costera.

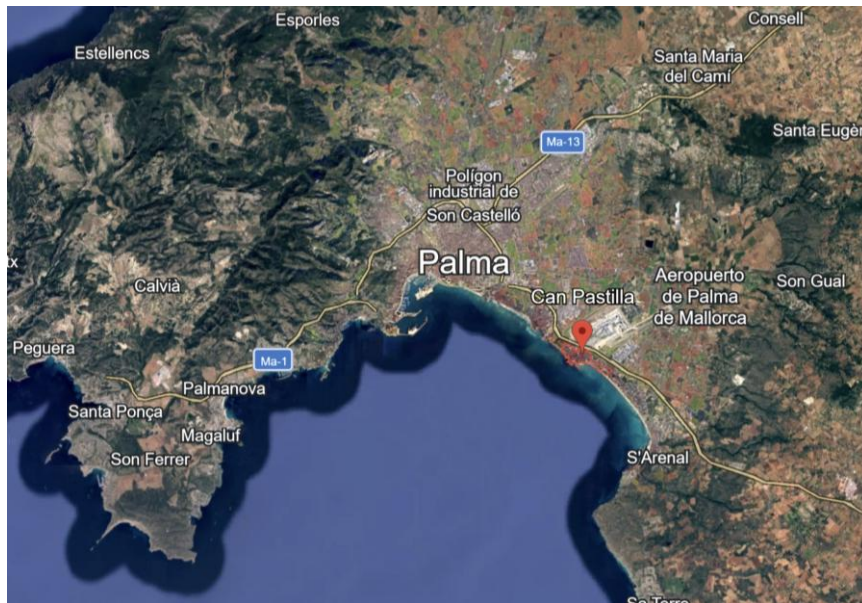


Ilustración 8. Localización del hotel en Can Pastilla

Fuente: Google Maps, vista satélite.

El hotel fue construido en el año 2023. Se trata de un edificio de 4 plantas. La ubicación de estudio es un tejado de 21,61 m², localizado en la planta superior de la edificación, donde estarán dispuestas las placas fotovoltaicas.

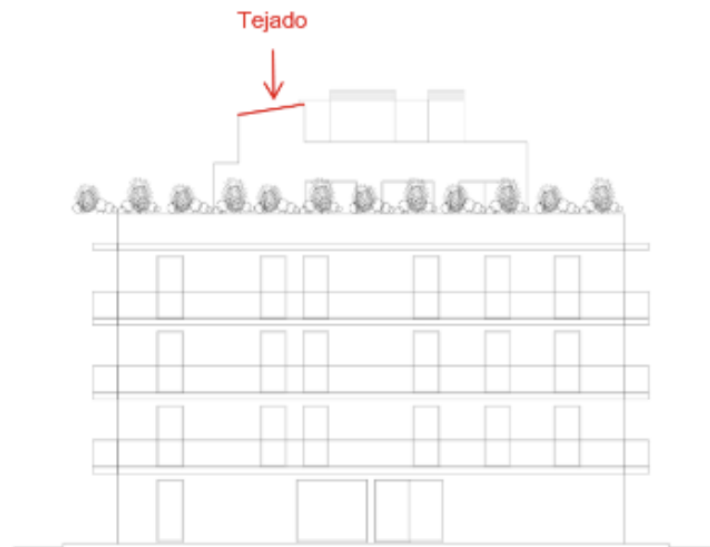


Ilustración 9. Alzado del edificio

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación gráfica del edificio.

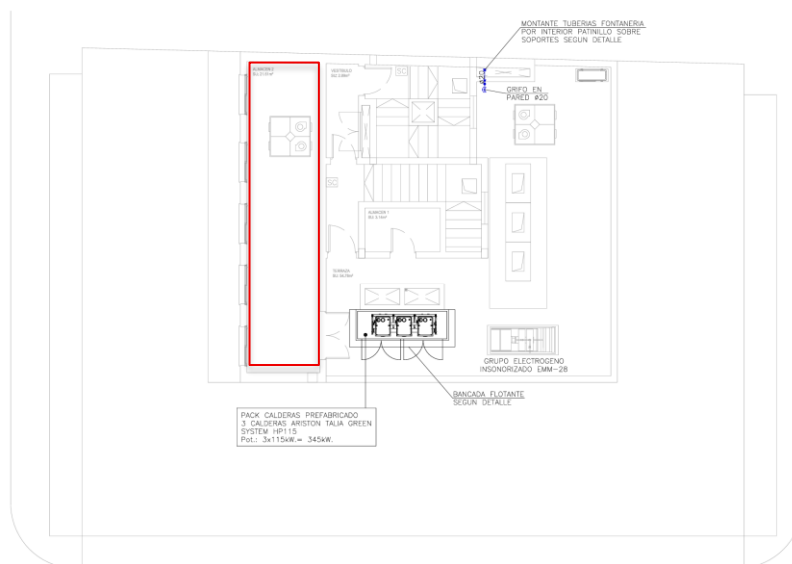


Ilustración 10. Planta del edificio

Fuente: elaboración propia a partir de la documentación gráfica del edificio.

3.1.3 Datos climáticos

El análisis de los datos climáticos de la zona constituye una fase fundamental dentro del presente estudio. Permite identificar y pronosticar las condiciones ambientales a las que estará sometida la instalación fotovoltaica y valorar el futuro potencial. La producción eléctrica de los paneles, depende directamente de la radiación solar disponible y viéndose afectada, también, por la temperatura de funcionamiento de los módulos. En el caso de este trabajo, resulta especialmente imprescindible al tratarse de Palma de Mallorca, una zona con condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar.

La localización, en un entorno costero mediterráneo, implica una elevada disponibilidad de radiación solar a lo largo del año, especialmente en los meses de apertura del hotel. Las circunstancias resultan favorables al coincidir la etapa de mayor irradiación con el aumento de la actividad hotelera.

Para el estudio climático, nos basaremos en las predicciones del año pasado (2025). Para ello se ha realizado un resumen de temperaturas, junto con las previsiones de nubosidad.

Mes	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura mínima media (°C)	Temperatura media (°C)
Enero	14,8	4,9	9,9
Febrero	15,5	5	10,2
Marzo	17,7	6,8	12,2
Abril	20,2	8,8	14,5
Mayo	24,1	12,3	18,2
Junio	28,5	16,7	22,6
Julio	30,7	19,8	25,2
Agosto	30,9	20,4	25,7
Septiembre	27,6	17,7	22,7
Octubre	23,9	13,1	18,5
Noviembre	18,8	8,7	13,7
Diciembre	15,9	6,1	11

Tabla 4. Resumen de temperaturas en 2025

Fuente: elaboración propia a partir de WeatherSpark.

Como podemos observar, los meses de apertura del hotel muestran las mayores temperaturas, siendo agosto el mes más caluroso con una media de 25,7°C.

Mes	Periodos más despejados (%)	Periodos más nubosos (%)
Enero	61	39
Febrero	62	38
Marzo	61	39
Abril	60	40
Mayo	60	40
Junio	73	27
Julio	89	11
Agosto	82	18
Septiembre	65	35
Octubre	56	44
Noviembre	58	42
Diciembre	60	40

Tabla 5. Resumen de nubosidad en 2025

Fuente: elaboración propia a partir de WeatherSpark.

Para el estudio de la radiación global, se ha hecho uso de la herramienta online de la comisión europea, denominada PVGIS. Este software es muy útil para consultar datos solares y llevar a cabo estimaciones fotovoltaicas.

En la siguiente gráfica, se pueden observar los resultados mensuales de irradiación global y con ángulo óptimo en 2023, para la zona de Can Pastilla en Palma de Mallorca

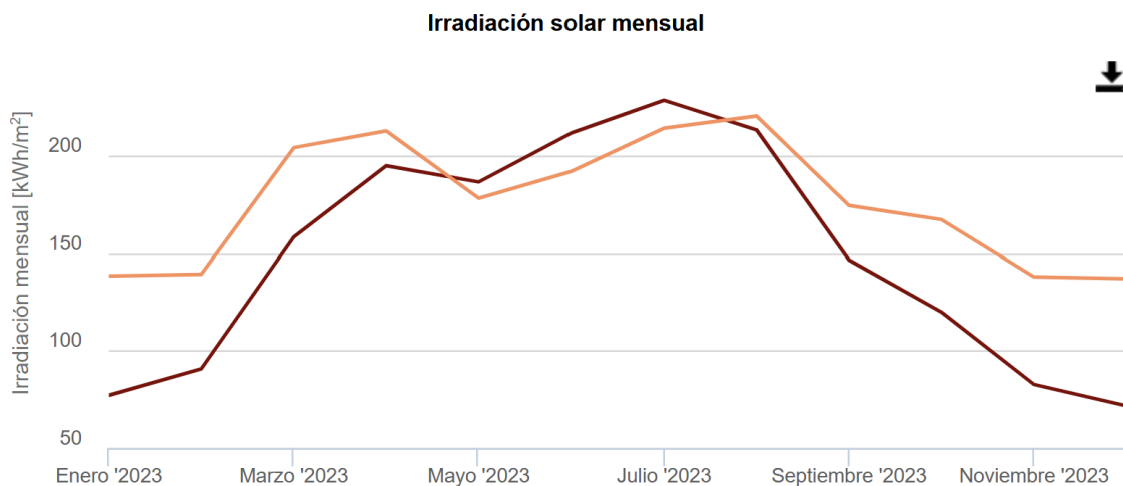


Ilustración 11. Gráfica irradiación mensual

Fuente: PVGIS, Comisión Europea

Los datos de irradiación global con ángulo óptimo, representado de color naranja en la gráfica anterior, nos puede ayudar mucho para determinar la colocación ideal de las placas fotovoltaicas

Mes	Irradiación global horizontal (kWh/m ² ·mes)
Enero	77,08
Febrero	90,6
Marzo	158,13
Abril	194,57
Mayo	186,22
Junio	211,35
Julio	228,12
Agosto	212,97
Septiembre	146,28
Octubre	119,64
Noviembre	82,61
Diciembre	71,63

Tabla 6. Resumen irradiación global horizontal mensual

Fuente: PVGIS, Comisión Europea

Mes	Irradiación global con ángulo óptimo (kWh/m ² ·mes)
Enero	138,14
Febrero	139,04
Marzo	203,8
Abril	212,4
Mayo	177,9
Junio	191,67
Julio	213,8
Agosto	220,08
Septiembre	174,17
Octubre	166,98
Noviembre	137,71
Diciembre	136,76

Tabla 7. Resumen irradiación global angular mensual

Fuente: PVGIS, Comisión Europea

Podemos observar como en los meses de mayor irradiación solar, predomina el ángulo óptimo. A raíz de ello se pone en manifiesto la importancia de seleccionar adecuadamente la inclinación de los módulos fotovoltaicos.

3.2 Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica

Ya analizado el emplazamiento, la superficie disponible en cubierta y los condicionantes físicos de la instalación, se procede al dimensionamiento del sistema fotovoltaico. El objetivo de esta fase es definir el número de módulos, la potencia total instalada, la selección del inversor y la configuración general del sistema. Es de gran importancia la coherencia con la geometría de la cubierta y la demanda eléctrica del hotel.

3.2.1 Número de módulos y potencia instalada

Para la simulación, se ha considerado un generador fotovoltaico formado por 10 módulos RED Alpha Pure-RX de 470 Wp por su alta eficiencia y su adecuación a las condiciones del proyecto. La configuración adoptada, está compuesta por dos cadenas de 5 módulos en serie.

A partir de esta disposición, la potencia pico total instalada del generados es de:

$$P = 10 * 470 \text{ Wp} = 4700 \text{ Wp}$$

Por tanto, la potencia nominal total es de 4,70 kWp en condiciones estándar.

El área de superficie ocupada por el conjunto de módulos es de 21 m², valor inferior al tamaño de cubierta disponible: 21,61 m². Esta relación entre número de módulos, potencia total y espacio ocupado, resulta especialmente relevante en el presente proyecto, ya que la limitación de superficie se trata de una de las principales limitaciones del proyecto.

Una vez definida la configuración general del sistema, resulta necesario establecer la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos.

3.2.2 Orientación adaptada

La elección de la inclinación, no debe responder únicamente a un criterio de máximo rendimiento teórico, sino también a las condiciones reales de implantación de la instalación. El valor óptimo en Palma de Mallorca, es de 30° y 35° orientados al sur (azimut 0°).

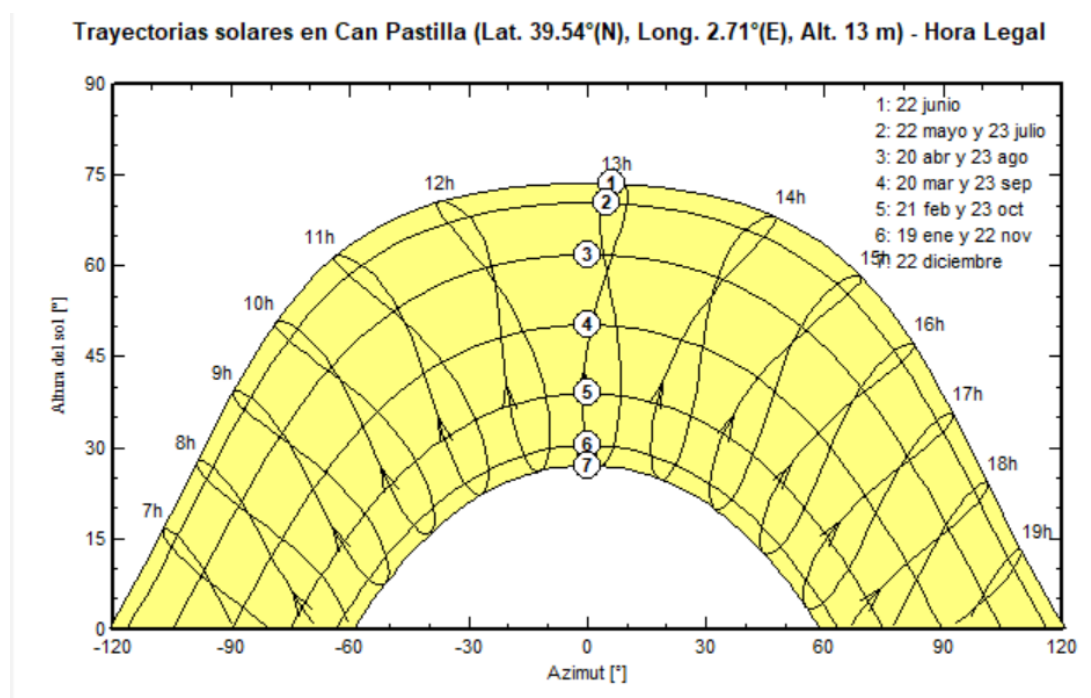


Ilustración 12. Diagrama de recorridos solares en la ubicación establecida

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

En el presente caso, la instalación se desarrolla sobre una cubierta con limitaciones físicas, debido a la presencia de un recuperador de ventilación que impide el apoyo directo de los módulos sobre la superficie útil. Por ello se ha decidido la implantación de una superficie elevada como se mostró anteriormente. Este condicionante hace que una inclinación elevada de los módulos, no resulte la solución más adecuada, ya que aumentaría la complejidad de la estructura, dificultaría su integración sobre la cubierta

y podría dar lugar a grandes esfuerzos mecánicos, especialmente frente a la acción del viento.

Teniendo en cuenta estas condiciones, se ha decidido adoptar una inclinación de 20° como solución de diseño para instalación propuesta. Este valor se considera adecuado como punto óptimo entre el aprovechamiento solar e integración estructural.

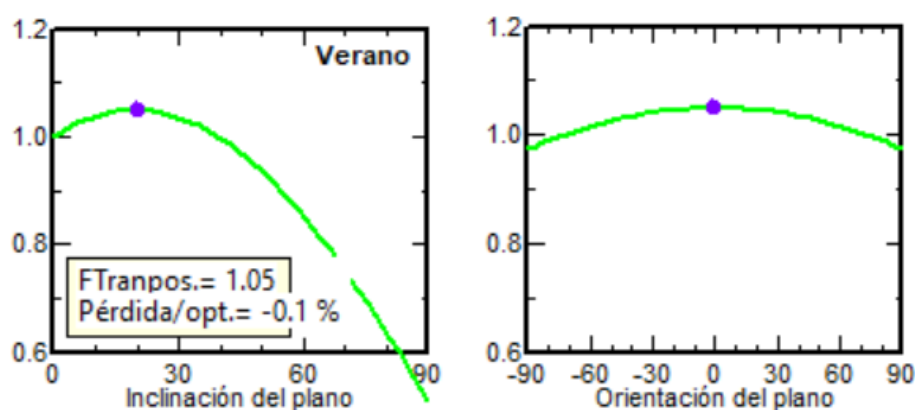


Ilustración 13. Factor de transposición en función de la inclinación/orientación del plano

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

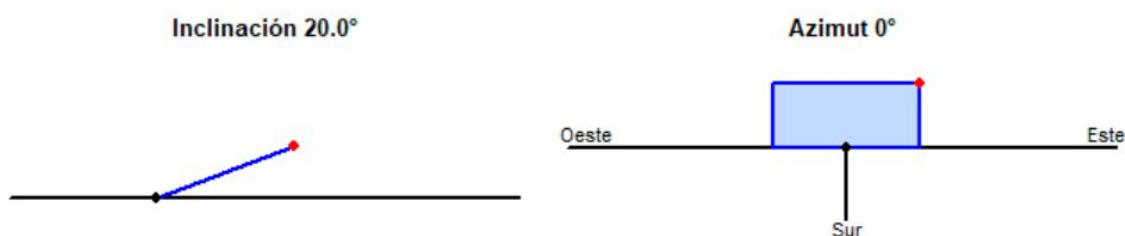


Ilustración 14. Representación de la inclinación y orientación de los paneles

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

3.2.3 Selección del inversor óptimo

Una vez seleccionado el generador fotovoltaico del sistema, es necesario escoger el inversor más adecuado, que garantice la correcta conversión de la energía generada y la compatibilidad eléctrica del sistema.

En el presente proyecto, el generador fotovoltaico está constituido por 10 módulos REC Alpha Pure-RX de 470 W, lo que supone una potencia pico total instalada de 4,70 kWp. La configuración adoptada para el campo fotovoltaico es de 2 cadenas de 5 módulos en serie, por lo que el inversor seleccionado debe ser compatible con dicha disposición y con los valores de tensión y corriente asociados al sistema.

Al tratarse de una instalación correspondiente a un hotel, se considera adecuada la selección de un inversor trifásico. En un hotel, la demanda eléctrica no se concentra en un único punto de consumo, sino que se reparte entre climatización, iluminación, ventilación, cocina, lavandería y otros servicios auxiliares, lo que da lugar a un funcionamiento más compatible con una red interior trifásica. Por lo que el uso de un inversor trifásico permite una integración más adecuada de la energía generada en la instalación eléctrica del edificio, favoreciendo una distribución más equilibrada de la potencia y una solución más representativa de las condiciones reales de explotación del establecimiento.

Finalmente, se ha seleccionado el inversor Huawei SUN 2000-5KTL-M1, con una potencia nominal de 5 kWca, lo cual es un valor razonable para la potencia nominal de 4,7 kWp. La relación entre ambas magnitudes resulta próxima a la unidad, con un valor aproximado de 0,94, lo que se considera técnicamente admisible y adecuado para la instalación propuesta.

El inversor seleccionado, cuenta con dos entradas MPPT, lo que dará lugar a una conexión de forma independiente en cada una de las dos cadenas definidas en el sistema. Permitirá aprovechar de forma total la capacidad del equipo en la simulación.



Ilustración 15. Inversor SUN 2000-5KTL-M1

Fuente: Huawei, página oficial del producto.

3.3 Simulación del sistema fotovoltaico en PVsyst

La simulación realizada en PVsyst permite obtener diversos resultados de interés para el estudio. No se plantea como un simple cálculo teórico aislado, sino como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones técnicas. A través de ella, es posible comprobar si la instalación definida, se adapta correctamente a las condiciones del emplazamiento.

3.3.1 Objeto de la simulación

Esta fase, constituye el nexo entre el diseño técnico de la instalación y el análisis de rentabilidad posterior. A partir de los resultados obtenidos, se podrá evaluar el impacto energético de la propuesta, estudiar su viabilidad económica y finalmente, justificar la conveniencia de implantar una solución fotovoltaica en el edificio analizado.

3.3.2 Configuración en el programa

La fase previa a simular el programa, es añadir la configuración inicial, para, posteriormente poder obtener todos los parámetros necesarios para el estudio posterior.

En primer lugar, se cargan los datos meteorológicos. Para ello, se selecciona la ubicación del proyecto y, a través de *Meteonorm 9*, el programa detecta el pronóstico climático anual.

Coordenadas geográficas Datos meteo mensuales Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio: Obtener de coordenadas

País: Región: Mostrar mapa

Coordenadas geográficas

Recorridos solares

Latitud: [°] (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: [°] (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio
 Hora Legal - Hora Solar = 0h 49m ?

Obtener del nombre

Ilustración 16. Coordenadas geográficas del establecimiento

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

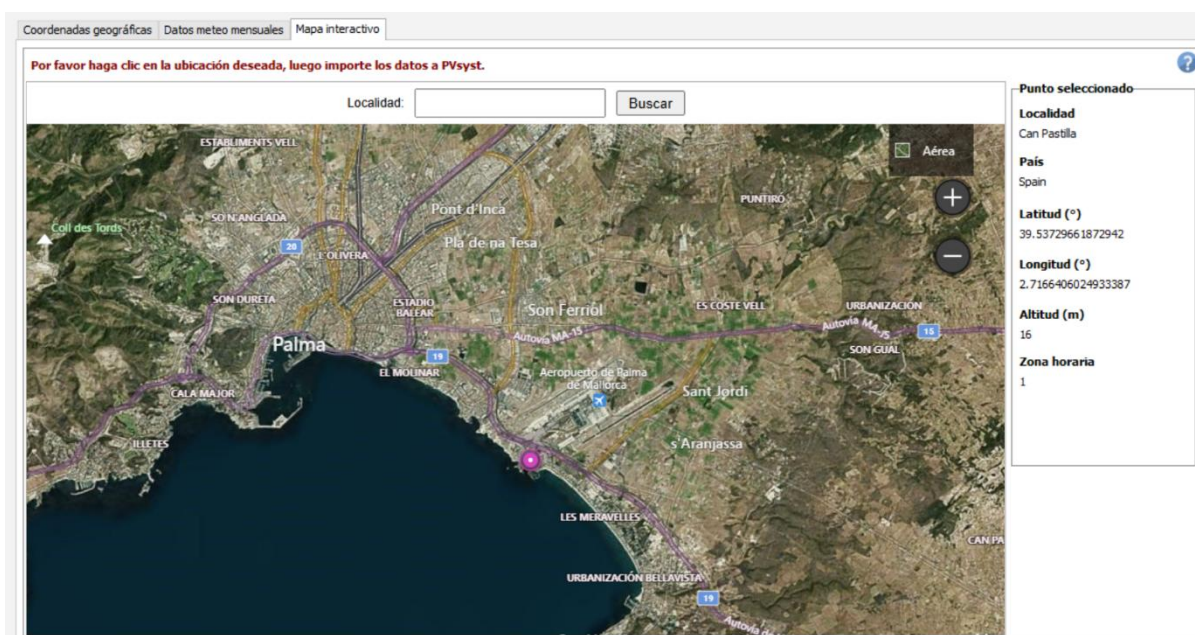


Ilustración 17. Mapa interactivo de la zona del establecimiento

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

A continuación, se elige la orientación e inclinación de los paneles. Para ello, nos apoyamos en las gráficas de factor de transposición (Fig. 11). Finalmente se escogió la siguiente configuración.

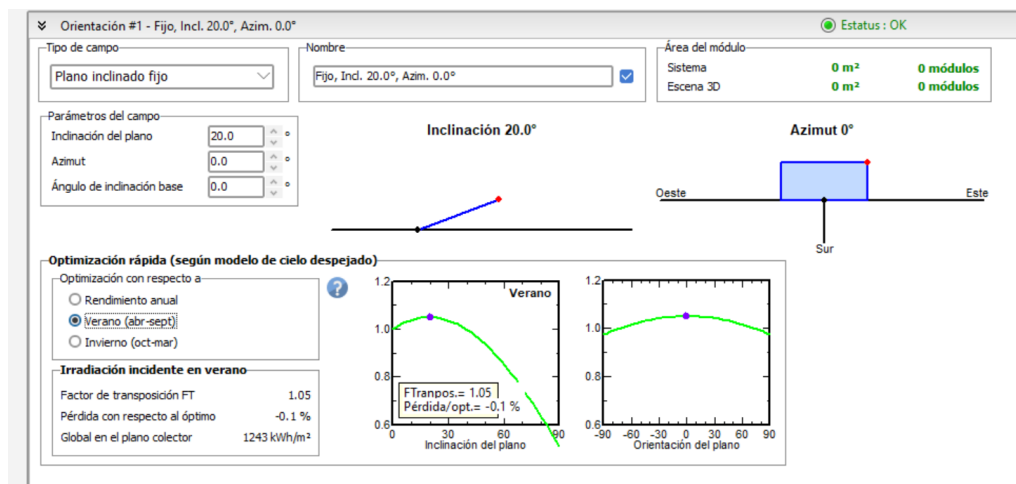


Ilustración 18. Orientación e inclinación de los paneles

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

En tercer lugar, se define el sistema de red, para ello seleccionamos los módulos fotovoltaicos y el inversor que instalará.

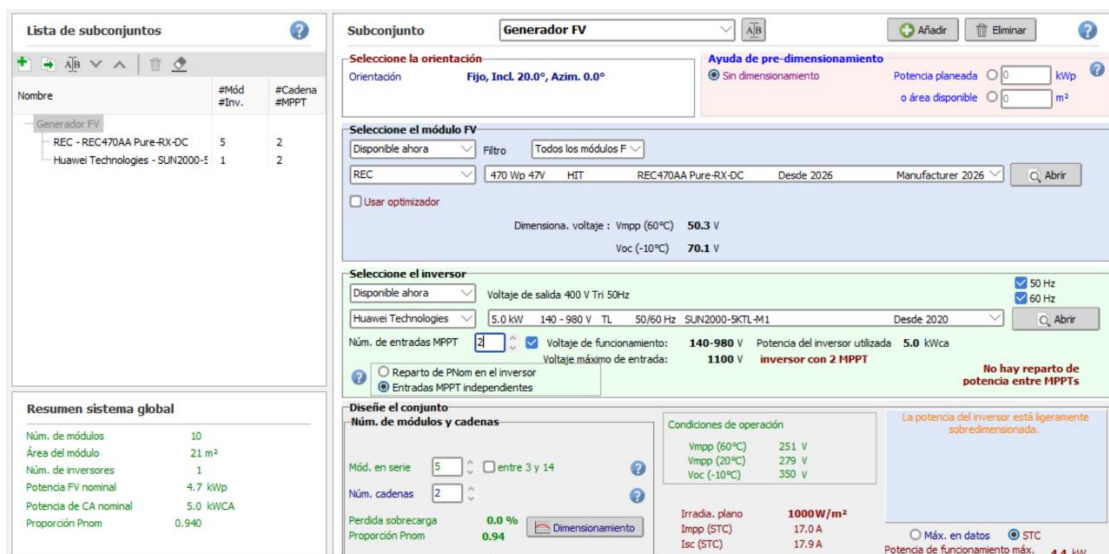


Ilustración 19. Definición del sistema de red

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

Aunque el software de simulación indica un ligero sobredimensionamiento del inversor respecto a la potencia pico del generador, esta diferencia es reducida y no compromete el funcionamiento del sistema. Por el contrario, permite disponer de una configuración estable, sin pérdidas por sobrecarga y técnicamente coherente con la solución planteada.

Capítulo 4. Resultados de la simulación

4.1 Producción energética mensual y anual estimada

A continuación, se mostrará la generación mensual y anual de la instalación. Este análisis es de gran importancia ya que nos permitirá comparar la producción fotovoltaica con los periodos de mayor demanda del hotel. En la siguiente tabla, nos centraremos, principalmente, en la última columna que indica la energía inyectada en la red.

Nueva variante de simulación
Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh
Enero	69.6	26.60	9.10	102.4	100.8	451.3	428.2
Febrero	85.2	35.53	9.40	112.1	110.4	491.9	468.6
Marzo	138.9	51.31	12.40	166.7	164.0	720.8	688.9
Abril	169.5	59.90	15.50	185.4	182.0	790.2	755.6
Mayo	209.4	77.08	19.10	213.0	209.2	899.7	860.7
Junio	228.3	68.48	23.70	225.5	221.6	938.1	897.8
Julio	229.2	70.40	26.20	229.7	225.9	949.8	909.3
Agosto	201.2	67.47	25.90	213.3	209.7	884.3	845.8
Septiembre	147.0	58.91	22.30	169.3	166.4	712.2	680.2
Octubre	111.5	43.06	18.60	141.6	139.1	604.4	576.2
Noviembre	71.4	31.77	13.60	99.6	98.0	433.8	411.2
Diciembre	61.7	26.63	10.10	92.7	91.1	408.1	386.7
Año	1722.9	617.14	17.20	1951.3	1918.3	8284.5	7909.1

Tabla 8. Tabla de balances y resultados de la simulación

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

A partir de la simulación realizada, la instalación fotovoltaica presenta una producción anual de 8284,5 kWh/año a la salida del generador fotovoltaico. Considerando las pérdidas del inversor, la energía útil final asciende a 7909,1 kWh/año. Para nuestro estudio, los meses que más interesan son, los que contamos con registro de la demanda del hotel.

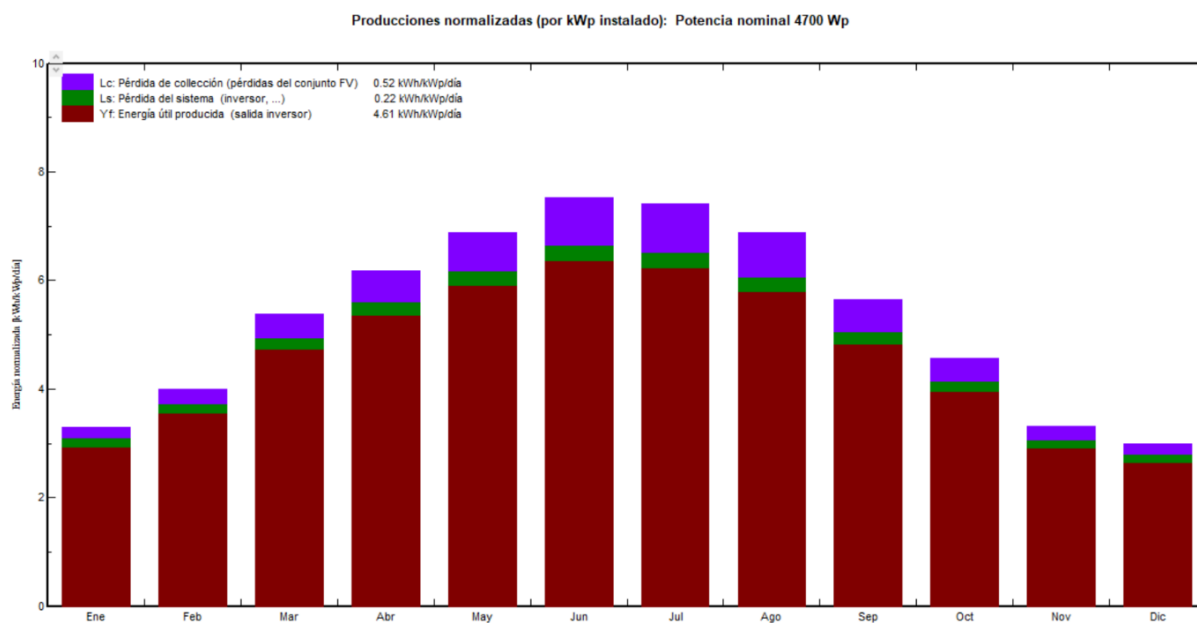


Ilustración 20. Gráfica de producción y pérdidas por Wp instalado

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software.

Periodo	Generación útil (kWh)	Generación útil diaria (kWh/día)	Proporción del rendimiento
Mayo	860,7	27,76	0,86
Junio	897,8	29,93	0,847
Julio	909,3	29,33	0,842
Agosto	845,8	27,28	0,844
Septiembre	680,2	22,67	0,855
Octubre	576,2	18,59	0,866

Tabla 9. Periodo Generación útil (kWh)

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst.

Esta distribución mensual resulta especialmente favorable para el caso analizado, ya que los meses de mayor generación coinciden con el periodo de mayor actividad y demanda energética del hotel, favoreciendo así el aprovechamiento de la energía producida.

4.2 Rendimiento del sistema

Además de la producción energética total obtenida, resulta especialmente relevante, llevar a cabo un estudio del rendimiento global del sistema fotovoltaico, que es lo que lo distingue de un sistema ideal.

Uno de los parámetros más representativos es la proporción de rendimiento (PR). Este, permite evaluar la calidad de funcionamiento de la instalación, considerando las pérdidas existentes en el sistema.

Mes	T Amb (°C)	PR
Enero	9,1	0,889
Febrero	9,4	0,889
Marzo	12,4	0,879
Abril	15,5	0,867
Mayo	19,1	0,86
Junio	23,7	0,847
Julio	26,2	0,842
Agosto	25,9	0,844
Septiembre	22,3	0,855
Octubre	18,6	0,866
Noviembre	13,6	0,879
Diciembre	10,1	0,888
Año	17,2	0,862

Tabla 10. Tabla de proporción de rendimiento mensual y anual

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst.

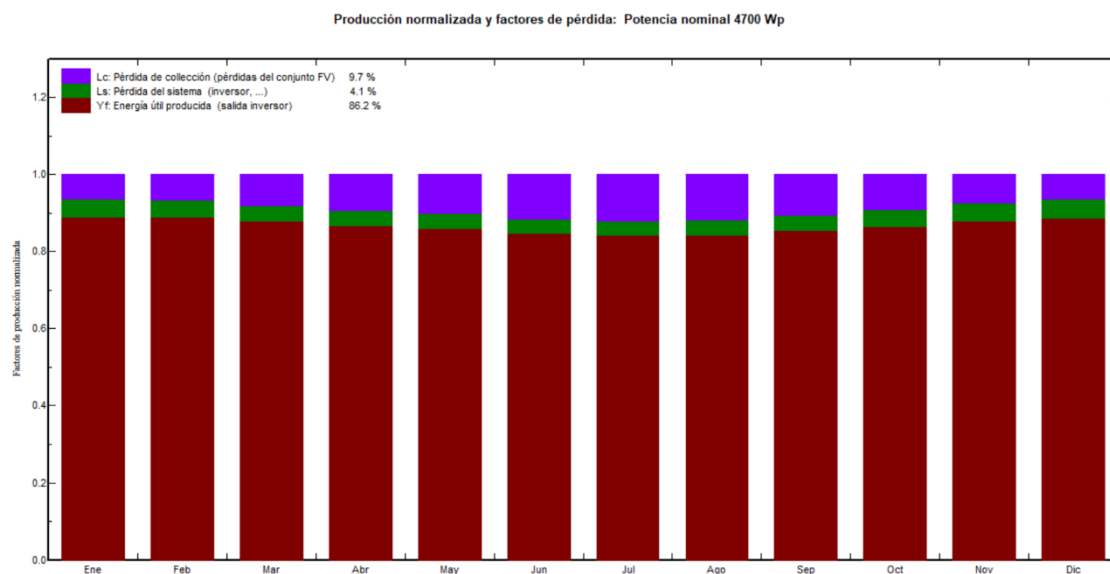


Ilustración 21. Gráfica de factores de producción y de pérdidas

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software

El valor del PR, relaciona la energía útil finalmente obtenida con la energía que teóricamente se aprovecharía en condiciones ideales de funcionamiento. En este parámetro, está contenido el efecto conjunto de las pérdidas debidas a el funcionamiento de los módulos y el proceso de conversión del inversor, y al resto de factores que afectan al comportamiento real de la instalación. Se calcula de la siguiente forma:

$$PR = \frac{E \text{ útil}}{P_{inst} * \frac{H}{G_{ref}}}$$

Ecuación 3. Cálculo de Performance Ratio

Donde El término E útil corresponde a la energía útil generada por la instalación, es decir, la energía final que realmente puede aprovecharse. Por otra parte, P inst es la potencia pico instalada del generador fotovoltaico. La magnitud H hace referencia a la irradiación solar incidente sobre el plano de los módulos durante el periodo analizado, mientras que G ref es la irradiancia de referencia en condiciones estándar. En conjunto, esta relación permite cuantificar qué parte del rendimiento teórico ideal consigue

aprovechar realmente la instalación una vez consideradas las pérdidas reales del sistema.

El valor de 0,862 de PR, simboliza que anualmente el sistema aprovecha el 86,2% del rendimiento ideal. Dicho parámetro se encuentra oscilando entre el 84,2% y el 88,9%, siendo menos en los meses de mayor generación, lo cual resulta coherente, entre otras cosas, por el aumento de temperaturas.

Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación" - año

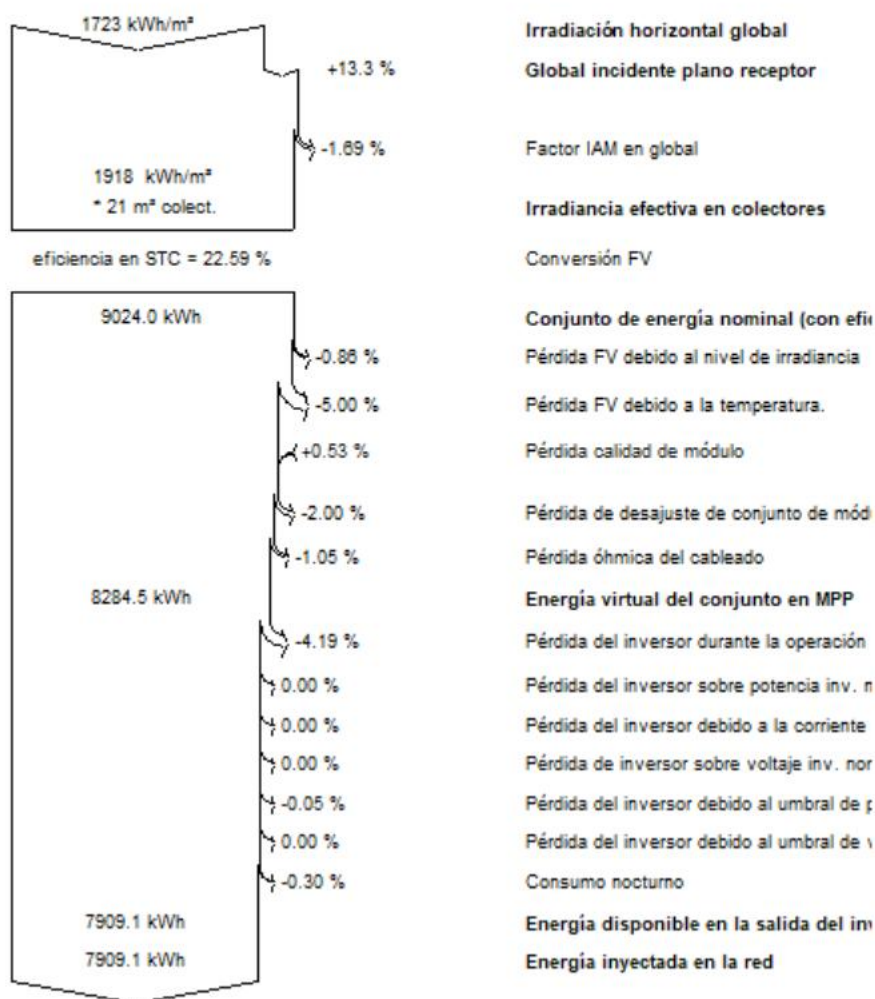


Ilustración 22. Diagrama de pérdidas detallado

Fuente: PVsyst Photovoltaic Software

4.3 Comparación con la demanda del hotel

Una vez obtenidos los resultados energéticos de la simulación, resulta necesario comparar la producción estimada del sistema fotovoltaico con la demanda eléctrica real del hotel. El principal objetivo es valorar el grado de cobertura del consumo mensual por parte del sistema fotovoltaico.

Después de desarrollar el análisis de demanda eléctrica, se observa que el establecimiento presenta consumos mensuales elevados, especialmente durante los meses de verano. Esto da lugar a una coincidencia positiva con el periodo de mayor actividad turística. Por otra parte, la simulación en PVsyst muestra que la instalación fotovoltaica alcanza sus mayores niveles de producción en esos mismos meses, lo que da lugar a una coincidencia favorable entre la disponibilidad de recurso solar y el periodo de mayor demanda energética del establecimiento.

Tras la comparación, se observa que la producción fotovoltaica estimada representa una pequeña fracción del consumo total del establecimiento. Esto significa que, aunque la instalación contribuye a la reducción parcial de la energía demandada de la red, no resulta suficiente para cubrir una parte grande del consumo eléctrico del hotel. Obteniendo los datos adjuntados a continuación:

Periodo	Producción fotovoltaica (kWh)	Consumo del hotel (kWh)
Mayo	860,7	13.913
Junio	897,8	16.910
Julio	909,3	19.678
Agosto	845,8	22.459
Septiembre	680,2	19.218

Tabla 11. Tabla comparativa de consumo y generación anual

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst y de las facturas eléctricas analizadas

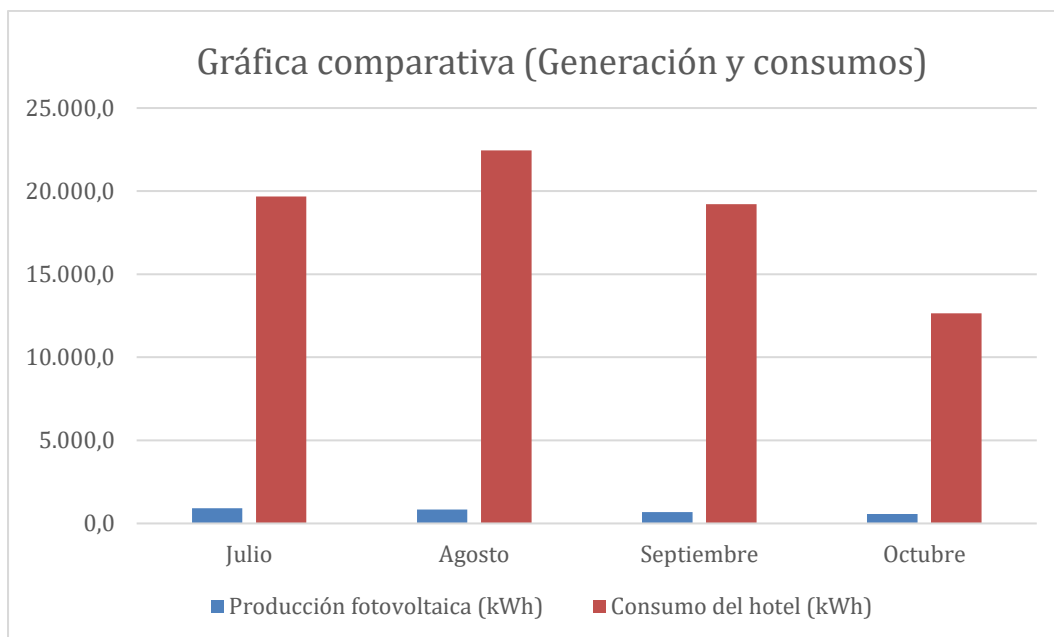


Ilustración 23. Gráfica comparativa de generación y consumo eléctrico mensual

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst y de las facturas eléctricas analizadas

A continuación, se ha realizado un análisis de porcentaje de cobertura de producción, respecto a la generación simulada en PVsyst. El objetivo es cuantificar de forma precisa la aportación de la instalación propuesta, que posteriormente nos ayudará, entre otras cosas, con el estudio de rentabilidad económica.

Periodo	Porcentaje rentabilidad (%)
Mayo	6,19
Junio	5,31
Julio	4,62
Agosto	3,77
Septiembre	3,54

Tabla 12. Tabla comparativa de consumo y generación anual

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst y de las facturas eléctricas analizadas

El porcentaje de cobertura, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{E_{FV}}{E_{Consumo}} * 100$$

Ecuación 4. Cálculo del porcentaje de rentabilidad

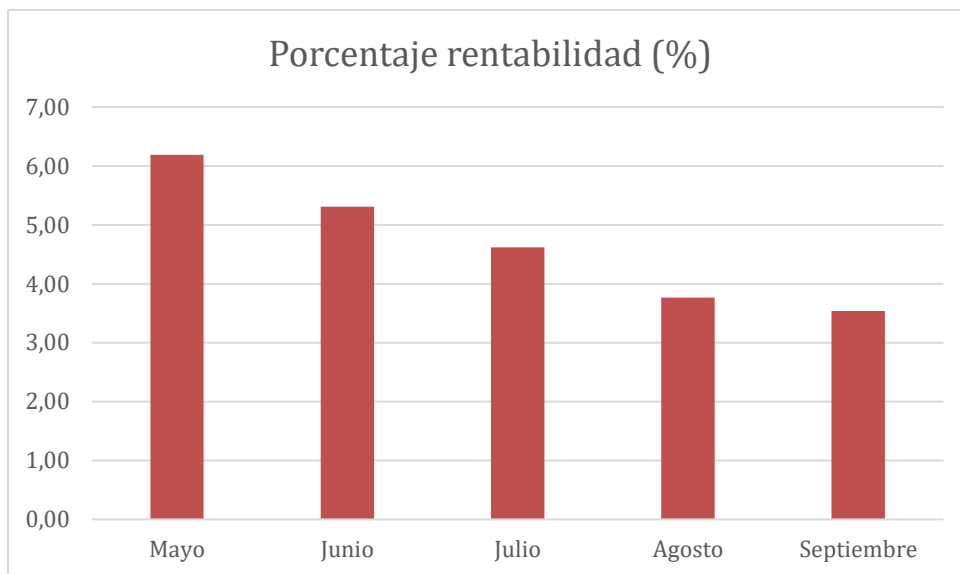


Ilustración 24. Gráfica representativa de la producción mensual

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst y de las facturas eléctricas analizadas

A partir de los resultados obtenidos se observa que la cobertura alcanzada se sitúa en valores reducidos, comprendidos aproximadamente entre el 3,5 % y el 4,6 % del consumo mensual del establecimiento. El valor más elevado se registra en julio, con una cobertura próxima al 4,6 %, mientras que el más bajo corresponde a septiembre, con un valor en torno al 3,5 %.

Estos datos reflejan que la instalación diseñada tiene capacidad para reducir la energía demandada de la red, aunque su peso sobre el consumo total del hotel sigue siendo limitado. A pesar de ello, la aportación del sistema resulta relevante, ya que permite cubrir una pequeña parte de la demanda mediante energía renovable generada en el propio edificio. Además, el hecho de que los mayores niveles de producción coincidan con los meses de mayor actividad del hotel favorece el aprovechamiento directo de la energía producida.

En conjunto, puede concluirse que la instalación fotovoltaica no alcanza una cobertura elevada sobre la demanda global del establecimiento, pero sí supone una mejora energética real, al disminuir parcialmente el consumo eléctrico convencional y contribuir a un funcionamiento más eficiente y sostenible del hotel.

Periodo	Producción fotovoltaica (kWh)	Consumo del hotel (kWh)	Porcentaje rentabilidad (%)
Mayo	860,7	13.913	6,19
Junio	897,8	16.910	5,31
Julio	909,3	19.678	4,62
Agosto	845,8	22.459	3,77
Septiembre	680,2	19.218	3,54

Tabla 13. Tabla de resumen energético y de cobertura

Fuente: elaboración propia a partir de PVsyst y de las facturas eléctricas analizadas

Capítulo 5. Estudio económico

5.1 Hipótesis económicas de partida

Para poder realizar el estudio de rentabilidad económica de la instalación fotovoltaica propuesta, es necesario establecer previamente una serie de hipótesis de partida que sirvan como base para el análisis posterior.

Como punto de partida, tenemos en cuenta la configuración escogida anteriormente, compuesta por 10 módulos REC Alpha Pure-RX de 470 kWh, un inversor trifásico Huawei SUN2000-5KTL-M1 y el resto de paramenta necesaria para su diseño y correcto funcionamiento.

Además, se considera que la mayor parte de energía generada por el sistema, podrá ser directamente aprovechada por el hotel. Esto se debe a que el consumo eléctrico del establecimiento es muy superior a la producción fotovoltaica estimada. Por tanto, en nuestro estudio, la energía producida por la instalación reducirá de forma directa la demanda de electricidad procedente de la red.

Para estimar el ahorro económico anual se toma como referencia el precio medio mensual reflejado en las facturas disponibles del establecimiento. El ahorro económico, por tanto, se calcula mes a mes a partir de la producción fotovoltaica útil estimada y del coste unitario de la energía eléctrica correspondiente a cada periodo, obteniéndose posteriormente el ahorro anual como suma de los valores mensuales. Este procedimiento permite ajustar el análisis económico de forma más precisa a las condiciones reales del suministro eléctrico del hotel.

En relación a la inversión inicial, se consideran los principales elementos que integran la instalación: módulos fotovoltaicos, inversor, estructura de soporte, cableado, protecciones eléctricas y costes asociados al montaje e implantación del sistema. Los importes empleados deben entenderse como una estimación suficiente para evaluar la viabilidad económica general de la propuesta.

Finalmente, el análisis económico se desarrolla a partir de la comparación entre la inversión inicial necesaria para implantar la instalación y el ahorro económico anual esperado. Para ello, se tendrán en cuenta los principales costes asociados al sistema, así como aquellos factores que resultan más relevantes para la valoración económica del proyecto.

5.2 Coste estimado de la instalación

Con el fin de evaluar la viabilidad económica de la propuesta, es necesario estimar, en primer lugar, en coste de todos los elementos que intervienen en el proyecto. Incluyendo los módulos fotovoltaicos, el inversor, la estructura de soporte, el cableado, las protecciones eléctricas y los costes de montaje e implantación. A partir de esta estimación se obtendrá una valoración orientativa del coste global de la instalación, que servirá como base para el posterior análisis de rentabilidad.

- **Módulos fotovoltaicos**

En base a distintas fuentes, usadas como inspiración, se ha concluido que un valor aproximado y lógico es 200 € por cada panel REC Alpha Pure-RX 470 W instalado. A continuación, se muestran los costes asociados a los paneles fotovoltaicos:

Elemento	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Panel fotovoltaico REC Alpha Pure-RX 470 W	10	200	2000
Total			2.000,00 €

Tabla 14. Estimación económica de los módulos fotovoltaicos

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

- **Inversor**

El precio aproximado por un inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1, es de 1100 €.

Elemento	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Inversor trifásico Huawei SUN2000-5KTL-M1	1	1200	1100
Total			1.100,00 €

Tabla 15. Estimación económica del inversor

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

- **Estructura de soporte**

El coste atribuido a la estructura de soporte se ha fijado de manera aproximada a partir de las particularidades de la solución planteada en este proyecto. En este caso, no se trata de una estructura convencional colocada directamente sobre la cubierta, sino de una estructura elevada de acero galvanizado. El objetivo es salvar la presencia del recuperador existente y hacer posible la correcta colocación de los módulos fotovoltaicos. Por este motivo, se estima un valor de 1.200 €, que se considera adecuado para una instalación de dimensiones reducidas como la estudiada y acorde con la complejidad constructiva de la solución propuesta.

Elemento	Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Estructura de soporte	Estructura elevada de acero galvanizado para la fijación de los módulos fotovoltaicos sobre cubierta	1	1.200	1.200
Total		1		1.200,00 €

Tabla 16. Estimación económica de la estructura de soporte

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

- **Cableado**

En relación con el cableado eléctrico, se ha considerado una estimación orientativa del coste asociado a los conductores necesarios para la conexión de los distintos elementos de la instalación fotovoltaica. Esta incluye tanto el cableado en corriente continua, encargado de interconectar los módulos y conducir la energía generada hasta el inversor, como el cableado en corriente alterna, destinado a enlazar la salida del inversor con la red interior del edificio.

Elemento	Descripción	Sección orientativa	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Cableado en corriente continua	Cable solar para la conexión entre módulos fotovoltaicos e inversor	6 mm ²	1	180	180
Cableado en corriente alterna	Cable para la conexión entre el inversor y el cuadro eléctrico del edificio	10 mm ²	1	150	150
Total					330,00 €

Tabla 17. Estimación económica del cableado eléctrico

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

- **Protecciones eléctricas**

Las protecciones eléctricas son una parte imprescindible de la instalación fotovoltaica. Garantizan la seguridad de las personas, de los equipos y de la propia red interior del edificio. Tras una larga búsqueda, se ha llegado a una estimación de precios para todos los componentes necesarios, que forman parte del sistema de protecciones.

Elemento	Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Protecciones en corriente continua	Seccionador DC, protección contra sobretensiones y fusibles si procede	1	220	220
Protecciones en corriente alterna	Magnetotérmico, diferencial, seccionamiento y protección contra sobretensiones	1	260	260
Puesta a tierra y elementos auxiliares	Conexión a tierra, bornes y pequeños accesorios de protección	1	120	120
Total				600 €

Tabla 18. Estimación económica de las protecciones eléctricas

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

- **Montaje e instalación**

Los gastos de montaje, recogen los gastos derivados de la puesta en obra del sistema fotovoltaico. Dentro de ellos, se han incluido tanto las horas de trabajo del personal técnico especializado, como los trámites administrativos necesarios para que la instalación pueda operar de forma legal y conectada a la red.

Las tareas a realizar abarcan el montaje de la estructura metálica, la colocación y fijación de los diez paneles fotovoltaicos, el tendido y conexionado de todos los cables necesarios de la instalación y por último, el conjunto de elementos de protección.

Por otro lado, la normativa vigente establece una serie de obligaciones administrativas que deben cumplirse antes de la puesta en servicio de la instalación. En concreto, el Real Decreto 244/2019 regula en España las condiciones técnicas, económicas y administrativas aplicables a este tipo de sistemas, exigiendo entre otras cosas la comunicación formal ante el organismo autonómico correspondiente y la coordinación con la empresa distribuidora para la correcta conexión a la red. En Baleares, este proceso se hace por vía telemática a través del portal del Govern y no tiene coste en concepto de tasas.

Donde sí aparece un gasto es en el ICIO, un impuesto municipal que grava cualquier obra o instalación. En Palma se aplica al 4% del presupuesto de ejecución, pero dado que el Ayuntamiento tiene aprobada una bonificación del 95% para obras que incluyan sistemas solares fotovoltaicos. Finalmente, lo calculamos como:

$$ICIO = 0.04 * 0.05 * \text{valor total instalación} = 0.002 * \text{valor total instalación}$$

Elemento	Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Coste total (€)
Mano de obra	Montaje de estructura, paneles, cableado, inversor y protecciones	1	700	700
Trámites administrativos	Gestión de autoconsumo y conexión con la distribuidora	1	$5942 * 0.002 = 12$	12
Total				712,00 €

Tabla 19. Estimación económica del montaje e instalación

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

5.3 Coste total de la instalación

Una vez estimado el coste de todos los elementos que componen el sistema fotovoltaico propuesto, se presenta a continuación, el resumen económico global de la instalación.

Concepto	Coste total (€)
Módulos fotovoltaicos (10 ud. REC Alpha Pure-RX 470 W)	2.000,00
Inversor trifásico Huawei SUN2000-5KTL-M1	1.100,00
Estructura de soporte elevada de acero galvanizado	1.200,00
Cableado eléctrico (CC y CA)	330
Protecciones eléctricas	600
Mano de obra	700
Total, antes de impuestos	5.930,00 €
ICIO (bonificado al 95%)	12
Total, después de impuestos	5.942,00 €

Tabla 20. Resumen económico global de la instalación

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

5.4 Análisis de rentabilidad económica

Partiendo del coste total de la instalación, se procede a analizar su rentabilidad económica. Este análisis permitirá valorar si la inversión necesaria para implantar el sistema puede recuperarse en un plazo razonable, mediante el ahorro en el consumo eléctrico.

La inversión total considerada, asciende a 5942 €. Con el fin de utilizar la mayor cantidad posible de información disponible, el análisis se ha realizado sobre los meses de apertura del hotel, comprendidos entre mayo y octubre. Paralelamente, se ha utilizado la producción útil mensual obtenida en la simulación realizada con PVsyst.

Para cada uno de estos meses se ha comparado la producción fotovoltaica útil estimada con el consumo eléctrico del establecimiento, obteniéndose los porcentajes de cobertura correspondientes. A partir de estos porcentajes y de los costes mensuales de facturación disponibles, se ha estimado el ahorro económico asociado al periodo de apertura.

Periodo	Porcentaje de cobertura (%)	Coste mensual (€)	Ahorro económico estimado (€)
Mayo	6,19	2.793,04	172,85
Junio	5,31	3.385,61	179,78
Julio	4,62	4.224,63	195,18
Agosto	3,77	4.970,50	187,39
Septiembre	3,54	4.007,13	141,85
Octubre	4,56	2.851,21	130,01
Total		22.232,12	1.007,06

Tabla 21. Porcentaje de cobertura y ahorro económico estimado

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes comerciales consultadas.

El ahorro total estimado a lo largo de la temporada de apertura asciende a 1.007,06 €. En cuanto al porcentaje de cobertura media durante los meses de apertura del hotel, tiene un valor de 4,66%.

Payback

En primer lugar, hemos calculado el periodo simple de retorno o payback. Esta medida, expresa el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial mediante el ahorro obtenido.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro económico anual}}$$

Ecuación 5. Cálculo del periodo simple de retorno

$$\text{Payback} = \frac{5942}{1007,06} = 5,9$$

Por tanto, el periodo simple de recuperación de la inversión es de aproximadamente 5,9 años. A partir de este resultado, se considera que la instalación presenta una rentabilidad económica favorable, ya que la inversión inicial podría amortizarse en un plazo razonable en comparación con la vida útil esperable de los módulos fotovoltaicos.

VAN

El valor actual neto o VAN, se trata de un indicador que permite valorar el beneficio económico generado por la instalación a lo largo de su vida útil, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero.

En este trabajo, se ha adoptado una tasa de descuento del 3,5%. Se trata de un valor razonable para un estudio económico de estas características. Se ha calculado el valor a los 25 años, que se trata de la vida útil de los módulos fotovoltaicos. Por otro lado,

hay que tener en cuenta que el inversor hay que reemplazarlo cada 12 años aproximadamente.

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^{25} \frac{Ft}{(1+r)^t} - \frac{C_{inv}}{(1+r)^{12}}$$

Ecuación 6. Cálculo del Valor Actual Neto

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^{25} \frac{1007,06}{(1+0,035)^t} - \frac{1100}{(1+0,035)^{12}} = 9927,91 \text{ €}$$

De este resultado, concluimos que, una vez pasados 25 años y considerando el coste de inversión y reposición del inversor a los 12 años, la actuación resulta conveniente desde el punto de vista económico.

TIR

Por otro lado, la Tasa Interna de Retorno o TIR, es un indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad de la inversión teniendo en cuenta el conjunto de los flujos económicos generados a lo largo de la vida útil de la instalación. Este parámetro permite conocer la rentabilidad interna del proyecto y compararla con la tasa de descuento adoptada en el análisis.

En el presente estudio, se han considerado las mismas hipótesis empleadas para el cálculo del VAN, es decir, una inversión inicial de 5.942 €, un ahorro económico anual de 1.006,5 €, una vida útil de 25 años, una tasa de descuento de referencia del 3,5 % y la reposición del inversor en el año 12 con un coste estimado de 1.100 €.

$$0 = -I + \sum_{t=1}^{25} \frac{Ft}{(1+TIR)^t} - \frac{C_{inv}}{(1+TIR)^{12}}$$

Ecuación 7. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

$$0 = -5942 + \sum_{t=1}^{25} \frac{1007,06}{(1 + TIR)^t} - \frac{1100}{(1 + TIR)^{12}}$$

$$TIR = 16,04\%$$

Bajo las hipótesis adoptadas en el análisis, la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es de 16,03 %. Se observa, por tanto, que la instalación presenta una rentabilidad interna claramente superior a la tasa de descuento considerada, lo que refuerza la viabilidad económica de la propuesta.

Capítulo 6. Conclusiones

6.1 Conclusiones técnicas

Considerando los aspectos técnicos, se ha comprobado la viabilidad de implantar una instalación fotovoltaica sobre la cubierta del hotel The Boc Hotel Can Pastilla. Para ello, se ha considerado, la superficie disponible, las condiciones físicas del emplazamiento y la configuración adoptada. Definiéndose, finalmente, una solución técnicamente compatible con las características reales del edificio.

La instalación propuesta, queda formada por 10 módulos fotovoltaicos REC Alpha Pure-RX 470 W, suponiendo un total de 4,70 kWp de potencia instalada. Todo ello, juntos a un inversor trifásico Huawei SUN2000-5KTL-M1 de 5kWca. Se ha configurado siguiendo una estructura dividida en 2 cadenas de 5 módulos en serie, manteniéndose en todo momento los parámetros de funcionamiento dentro de los márgenes admisibles del inversor seleccionado.

Además, se ha considerado la presencia de un recuperador de ventilación sobre la cubierta, obligando a plantear una estructura elevada de soporte. Se ha buscado una solución coherente desde el punto de vista estructural y funcional. Dicha estructura, permite también la orientación e inclinación solicitada (Azimut 0° e inclinación 20°) que, aunque tal vez no coincida con el teórico anual en Mallorca, representa una solución equilibrada entre rendimiento energético y viabilidad constructiva.

Finalmente, la simulación, llevada a cabo mediante PVsyst, ha permitido verificar el correcto comportamiento global del sistema definido. Los resultados, han simbolizado una configuración estable, sin pérdidas significantes y con valores de rendimiento esperados.

Concluyendo que la instalación propuesta resulta técnicamente viable, estando correctamente dimensionada para el emplazamiento estudiado y siendo compatible con las condiciones reales del edificio objeto de análisis.

6.2 Conclusiones energéticas

Desde el punto de vista energético, los resultados obtenidos permiten concluir que la instalación fotovoltaica propuesta contribuye de forma efectiva a reducir parcialmente el consumo eléctrico del hotel. La simulación realizada en PVsyst muestra que el sistema definido presenta una producción anual útil significativa, concentrada principalmente en los meses de mayor irradiación solar, que coinciden además con el periodo de mayor actividad del establecimiento.

La energía generada por la instalación no resulta suficiente para cubrir una fracción elevada de la demanda total del hotel, ya que el consumo del edificio es considerablemente superior a la producción fotovoltaica estimada. No obstante, esta aportación energética sigue siendo relevante, ya que permite disminuir una parte del consumo eléctrico procedente de la red mediante generación renovable en el propio punto de consumo.

En consecuencia, puede afirmarse que la instalación fotovoltaica propuesta constituye una mejora energética técnicamente útil, al permitir una reducción parcial del consumo convencional del hotel y favorecer el aprovechamiento de un recurso renovable disponible en el emplazamiento. Aunque su contribución no sea suficiente para cubrir una parte mayoritaria de la demanda, sí representa una actuación coherente con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad planteados en el trabajo, en una época donde se busca activamente la transición a energías sostenibles que resulten de actuación positiva frente al cambio climático.

6.3 Conclusiones económicas

Desde el punto de vista económico, la implantación de paneles resulta favorable en el hotel analizado. Se puede considerar especialmente rentable, teniendo en cuenta que se trata de un solo edificio y con una cubierta limitada.

A partir de los datos calculados, entre otras cosas, se obtiene un ahorro anual de 1007,06 €, lo cual permite recuperar la inversión en un plazo de 5,9 años. Estos valores, parecen razonables considerando que el estudio se realiza únicamente durante los meses de apertura del establecimiento, la razón es que, el resto de meses del año, al permanecer el hotel cerrado, el consumo energético es mínimo.

Además, el análisis financiero realizado refuerza esta valoración. El VAN obtenido es positivo con un valor de 9918,68 €. Se obtiene un valor positivo, indicando que, al recuperarse la inversión inicial, se le saca esa rentabilidad aparte. Por otro lado, el TIR de 16,03%, es muy superior a la tasa de descuento de 3,5% utilizada, lo que nos indica que la inversión es claramente útil.

Sin embargo, considerando que este hotel presenta un gasto de consumo aproximado de 22232 € anualmente, el ahorro que supone la implantación de plantas fotovoltaicas, resulta muy limitado. La causa de este factor, es la superficie disponible de 21,67 m², que impide instalar una potencia mayor.

No obstante, esto no resta valor a la propuesta, ya que se trata de una inversión de 5942€ que da un beneficio de 9918,68 y se amortiza en 6 años. Además, se trata de una inversión con riesgo prácticamente nulo. Más allá del retorno económico, la instalación contribuye a reducir las emisiones de CO₂ del establecimiento y mejora su imagen de cara a unos clientes y administraciones cada vez más exigentes en cuanto a la sostenibilidad.

En definitiva, aunque no resuelve el problema energético del hotel en su totalidad es un primer paso en la dirección correcta, que en un futuro podría abrir muchas puertas a proyectos de mejora.

6.4 Futuros trabajos

A partir del trabajo realizado, podrían plantearse diversas líneas de desarrollo futuro que permitirían ampliar y perfeccionar el estudio llevado a cabo.

En primer lugar, si la propuesta planteada resultase de interés para la propiedad y se considerase conveniente continuar con su desarrollo, podría contemplarse la posibilidad de estudiar nuevas superficies de aprovechamiento actualmente ocupadas o no utilizadas con fines energéticos. Esta línea de trabajo permitiría incrementar la potencia fotovoltaica disponible y, con ello, el potencial de ahorro energético y económico del establecimiento.

Por otro lado, podría ser interesante en un futuro desarrollar los detalles específicos Constructivos, incorporando el dimensionamiento preciso de la estructura de soporte, la instalación completa del cableado y las protecciones eléctricas, y un mayor análisis de la ejecución sobre la cubierta.

También, sería interesante contar con un mayor registro de facturas. Con ello, lograríamos tener más datos reales de consumo y llevar a cabo el análisis del proyecto con una mayor precisión. Esto permitiría ajustar de forma más rigurosa tanto la comparación entre demanda y generación como la valoración económica de la instalación.

Además, más adelante también se podría estudiar la posibilidad de instalar un punto de recarga para vehículo eléctrico. Si el hotel quisiera seguir avanzando en esa línea de sostenibilidad, podría ser un servicio interesante de cara a los clientes y una mejora adicional para el establecimiento. En cualquier caso, antes de plantearlo de forma real, haría falta analizar con más detalle la demanda esperada, la potencia disponible y si su implantación resultaría económicamente conveniente. De esta manera, no solo se le podría buscar el beneficio propio, sino también incentivar al alquiler de vehículos eléctricos por parte de los clientes y dar una imagen positiva socialmente, además de contribuir a la mejora del medio ambiente.

Por último, también sería interesante ampliar el trabajo con un análisis ambiental más cercano y concreto, que permitiera reflejar de forma sencilla qué impacto positivo tendría la instalación fotovoltaica en términos de reducción de emisiones. De este modo, no solo se valoraría el ahorro económico conseguido, sino también la aportación real de la propuesta desde el punto de vista medioambiental.

Capítulo 7. Bibliografía

- **Ajuntament de Palma.** *Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO) / Licencia tributaria de obras.* Disponible en: <https://seuelectronica.palma.cat/documents/39058/12929829/Ordenanza+fiscal+reguladora+del+Impuesto+sobre+construcciones%2C+instalaciones+y+obra+s+-+Concepto+282%2C00.pdf/36bd2235-762a-7bb5-6d44-b28ff99a0b2a?t=1683192287606> . Consulta realizada en julio de 2026.
- **AutoSolar.** *Inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1 (HC) 5kW Trifásico.* Disponible en: <https://autosolar.es/inversores-hibridos-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-5ktl-m1-hc-5kw-trifasico>. Consulta realizada en julio de 2026
- Documentación gráfica del establecimiento analizado: plano de planta y alzado del edificio utilizados para la elaboración del estudio
- Documentación interna del establecimiento: facturas eléctricas correspondientes al periodo julio-octubre de 2025.
- **Huawei.** *Ficha técnica del inversor SUN2000-5KTL-M1.* Disponible en: <https://solar.huawei.com/es/products/sun2000-5-12k-map0/specs/> Consulta realizada en julio de 2026.
- **Plug In Solar.** *Módulo fotovoltaico REC Alpha Pure-RX 470 W.* Disponible en: <https://www.pluginsolar.co.uk/?product=rec-alpha-pure-rx-series-470w-all-black-solar-panel> . Consulta realizada en julio de 2026.
- **PVGIS.** *Datos mensuales de irradiación para Palma de Mallorca.* Photovoltaic Geographical Information System, Comisión Europea. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/. Consulta realizada en junio de 2026.
- **PVsyst SA.** *PVsyst Photovoltaic Software.* Disponible en: <https://www.pvsyst.com/>. Consulta realizada en abril de 2026.

- **Real Decreto 244/2019, de 5 de abril**, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *BOE* núm. 83, de 6 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>. Consulta realizada en abril de 2026.
- **REC Group**. *Documentación comercial del módulo REC Alpha Pure-RX 470 W*. Disponible en: <https://www.recgroup.com/en/rec-alpha-pure-rx> . Consulta realizada en abril de 2026.
- **REC Group**. *Ficha técnica del módulo REC Alpha Pure-RX 470 W*. Disponible en: https://www.recgroup.com/sites/default/files/2025-01/Web_DS_REC%20Alpha%20Pure-RX_ES.pdf Consulta realizada en abril de 2026.
- **TecnoHotel**. *Solo el 10% de los hoteles cuenta con energías verdes*. 26 de marzo de 2023. Disponible en: <https://tecnohotelnews.com/2023/03/energias-verdes-hoteles-informe/>
- **WeatherSpark**. *Clima promedio en Palma de Mallorca (España) durante todo el año*. Consultado durante la elaboración del presente trabajo. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/h/y/47114/2025/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2025-en-Palma-de-Mallorca-Espa%C3%B1a#Figures-Summary> (Consulta realizada en junio de 20

