



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

ESTUDIO ENERGÉTICO Y GESTIÓN DE UN HOTEL EN MENORCA

Jerónimo García de Inza

Dirigido por:

Dr. Antonio García y Garmendia

Madrid

Marzo 2025

Firma del Autor:

Visto Bueno del director:

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Introducción..... | 7 |
| 2. | Motivación..... | 15 |
| 3. | Objetivos del Proyecto | 15 |
| 4. | Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)..... | 16 |
| 5. | Estado actual de la vivienda | 17 |
| 6. | Estado de la cuestión | 22 |
| 7. | Adaptación de las soluciones al emplazamiento del caso de estudio | 32 |
| 7.1. | Climatización..... | 32 |
| 7.2. | Ventilación y calidad del aire..... | 39 |
| 7.3. | Producción eléctrica renovable..... | 41 |
| 7.4. | Envolvente térmica y medidas pasivas | 44 |
| 8. | Diseño del sistema de climatización y ACS del edificio | 47 |
| 8.1. | Cargas por transmisión | 49 |
| 8.2. | Cargas por ventilación | 52 |
| 8.3. | Ganancias internas..... | 55 |
| 8.4. | Síntesis de cargas y base para el dimensionado | 58 |
| 8.5. | Interpretación de resultados..... | 59 |
| 8.6. | Dimensionado del sistema de ACS..... | 60 |
| 8.7. | Selección de equipos | 65 |
| 9. | Ventilación y calidad del aire..... | 69 |
| 9.1. | Particularidades en la rehabilitación de hoteles históricos | 69 |
| 9.2. | Estrategias de ventilación aplicables | 70 |
| 9.3. | Retos en rehabilitación patrimonial..... | 71 |
| 9.4. | Estimaciones energéticas e higiénicas | 72 |
| 9.5. | Selección del sistema de ventilación propuesto | 73 |
| 10. | Producción eléctrica renovable (FV)..... | 77 |
| 10.1. | Potencial solar en Menorca | 78 |
| 10.2. | Estimación de producción y cobertura de demanda | 80 |
| 10.3. | Selección de la instalación propuesta | 83 |
| 10.4. | Conclusiones..... | 86 |
| 11. | Viabilidad económica | 88 |
| 11.1. | Inversión inicial | 88 |
| 11.2. | Costes operativos y de mantenimiento | 90 |

| | |
|---|-----|
| 11.3. Ahorros económicos anuales | 91 |
| 11.4. Evaluación de la rentabilidad | 92 |
| 11.5. Conclusiones..... | 94 |
| 12. Conclusiones..... | 95 |
| 13. Bibliografía..... | 97 |
| Anexo I | 101 |
| Anexo II..... | 106 |
| Anexo III | 112 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Fachada de la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 17 |
| Ilustración 2. Ordinograma comparativo de los seis proyectos analizados. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 31 |
| Ilustración 3. Temperaturas mínimas, máximas y media en Mahón en 2024. Fuente: Meteostat, 2024 | 33 |
| Ilustración 4. Variación del COP de una bomba de calor aire-agua en función de la temperatura exterior y de la temperatura de impulsión. Fuente: Hirvonen y Sirén, 2017. | 35 |
| Ilustración 5. Ejemplo de gasto anual en calefacción y emisiones de CO ₂ para vivienda unifamiliar de 180m ² en Madrid. Fuente: Enerpop, 2018 | 36 |
| Ilustración 6. Gastos teniendo en cuenta inversión, gasto de energía y mantenimiento para vivienda unifamiliar de 180m ² en Madrid. Fuente: Enerpop 2018..... | 36 |
| Ilustración 7. Funcionamiento estacional de un sistema de ventilación mecánica con recuperación entálpica (VMC-RE): recuperación de calor en invierno y refrescamiento pasivo en verano. Fuente: Siber, 2025..... | 41 |
| Ilustración 8. Distribución mensual de la irradiación solar global sobre superficie fija inclinada en Menorca. Fuente: European Union PVGIS, 2025..... | 42 |
| Ilustración 9. Impacto ambiental de los sistemas de aislamiento durante 30 años de vida útil (gráfico izquierdo). Vista detallada del primer y último año (gráfico derecho). Fuente: Bottino-Leone et al., 2019. | 45 |
| Ilustración 10. Vista parcial de fachada con ventana y superficie acristalada. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 50 |
| Ilustración 11. Cálculo de los puntos críticos sobre el diagrama Daikin. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 54 |
| Ilustración 12. Caudal de cálculo Q _C en función del caudal total instalado Q _i para Q _i ≤ 20 l/s. Fuente: UNE 149201:2017 | 63 |
| Ilustración 13. Bomba de calor reversible Daikin EWYT085B-SLA1. Fuente: Daikin, 2025. | 66 |
| Ilustración 14. Unidad de ventilación centralizada Rosenberg SupraBox 2000H. Fuente: Rosenberg, 2025. | 74 |
| Ilustración 15. Falso techo propuesto en la entrada del edificio. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 76 |
| Ilustración 16. Techo original en la entrada del edificio. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 76 |
| Ilustración 17. Esquema visual de la integración de tuberías y conductos en falso techo. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 76 |
| Ilustración 18. Irradiación mensual en Mahón. Fuente: PVGIS, 2025..... | 79 |
| Ilustración 19. Mapa de aptitud para instalaciones fotovoltaicas en el área urbana de Mahón. Fuente: IDEIB, 2025. | 80 |
| Ilustración 20. Plano cubiertas del edificio. Fuente: Lucas Fox, 2025..... | 81 |
| Ilustración 21. Módulo fotovoltaico FuturaSun FU590M. Fuente: FuturaSun, 2025. ... | 84 |
| Ilustración 22. Distribución de la instalación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 85 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 23. Distribución mensual de la producción fotovoltaica estimada en Menorca (14,16 kWp). Fuente: Elaboración propia, 2025. | 86 |
| Ilustración 24. Relación entre el Valor Actual Neto (VAN) y la tasa de descuento. Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Fuente: Elaboración propia, 2025. | 93 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Condiciones de diseño para cálculo de cargas térmicas en Mahón. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 47 |
| Tabla 2. Distribución de estancias, superficies y ocupación máxima del hotel. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 48 |
| Tabla 3. Resumen del cálculo de cargas por transmisión. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 51 |
| Tabla 4. Caudales de exterior en dm ³ /s por persona. (Tabla 1.4.2.1 del RITE). Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 52 |
| Tabla 5. Cargas térmicas por ventilación. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 55 |
| Tabla 6. Valores de actividad metabólica, calor sensible y calor latente según tipo de actividad. Fuente: UNE-EN ISO 8996, 2021. | 56 |
| Tabla 7. Ganancias Internas. Fuente: Elaboración propia, 2025 | 57 |
| Tabla 8. Resumen del cálculo de cargas. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 58 |
| Tabla 9. Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado. Fuente: CTE DB HE4, 2019..... | 61 |
| Tabla 10. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato. Fuente: Tabla 2.1 Sección HS4 del CTE, 2019 | 62 |
| Tabla 11. Caudal mínimo total necesario. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 63 |
| Tabla 12. Resumen de equipos principales seleccionados. Fuente: Elaboración propia, 2025. | 67 |
| Tabla 13. Estimación de producción FV en tres escenarios de implantación. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 82 |
| Tabla 14. Producción mensual de energía FV en el escenario central (10,3 kWp). Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 82 |
| Tabla 15. Estimación de inversión inicial de la rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 89 |
| Tabla 16. Comparativa de costes operativos y de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia, 2025..... | 91 |

1. Introducción

Los edificios históricos son testigos de nuestro pasado, pero también representan un reto en el presente. Su valor arquitectónico y cultural los convierte en elementos fundamentales del paisaje urbano, pero su eficiencia energética no destaca por ser excelente¹. En un mundo donde la sostenibilidad y la reducción de emisiones de carbono se encuentran entre los principales objetivos, la rehabilitación energética de estos edificios se vuelve imprescindible.² No se trata solo de modernizarlos, si no de integrarlos en la transición ecológica sin comprometer su esencia. La aplicación de tecnologías innovadoras permite reducir el consumo energético, mejorar el confort térmico y extender la vida útil de estos edificios, alineándolos con las exigencias ambientales del siglo XXI.³

Más allá de la eficiencia energética, rehabilitar energéticamente un edificio histórico permite su reinención como espacio funcional y económicamente viable. Un ejemplo claro es su transformación en un hotel sostenible, una tendencia creciente en muchas ciudades del mundo⁴. La modernización energética de estos edificios no solo conlleva una reducción de los costes operativos⁵, si no que también mejora su atractivo y su integración en el mercado turístico.⁶

Este Trabajo de Fin de Máster se centra en un reto especialmente interesante: la rehabilitación energética de una casa señorial de 1886 situada en pleno centro histórico de Mahón, en Menorca. Esta emblemática casa de 677 m² y sin habitar desde 1990, presenta una oportunidad única para demostrar cómo un edificio de alto valor patrimonial puede transformarse en una infraestructura moderna y eficiente. El objetivo principal no es solo la rehabilitación energética, sino la conversión en un hotel boutique que pueda competir en el mercado actual. Por ello, la investigación se ha centrado en demostrar la viabilidad técnica y económica de esta transformación, proponiendo soluciones que garanticen una reducción drástica del consumo energético sin comprometer la integridad histórica del inmueble.

¹ Vieites, Vassileva, y Arias, 2015.

² Bienvenido-Huertas et al., 2021.

³ Etemad et al., 2024.

⁴ Papallou, Katafygiotou, y Dimopoulos, 2024.

⁵ Karvounidi, Alexandropoulou, y Fousteris, 2024.

⁶ Lee, Lee, y Gunarathne, 2019.



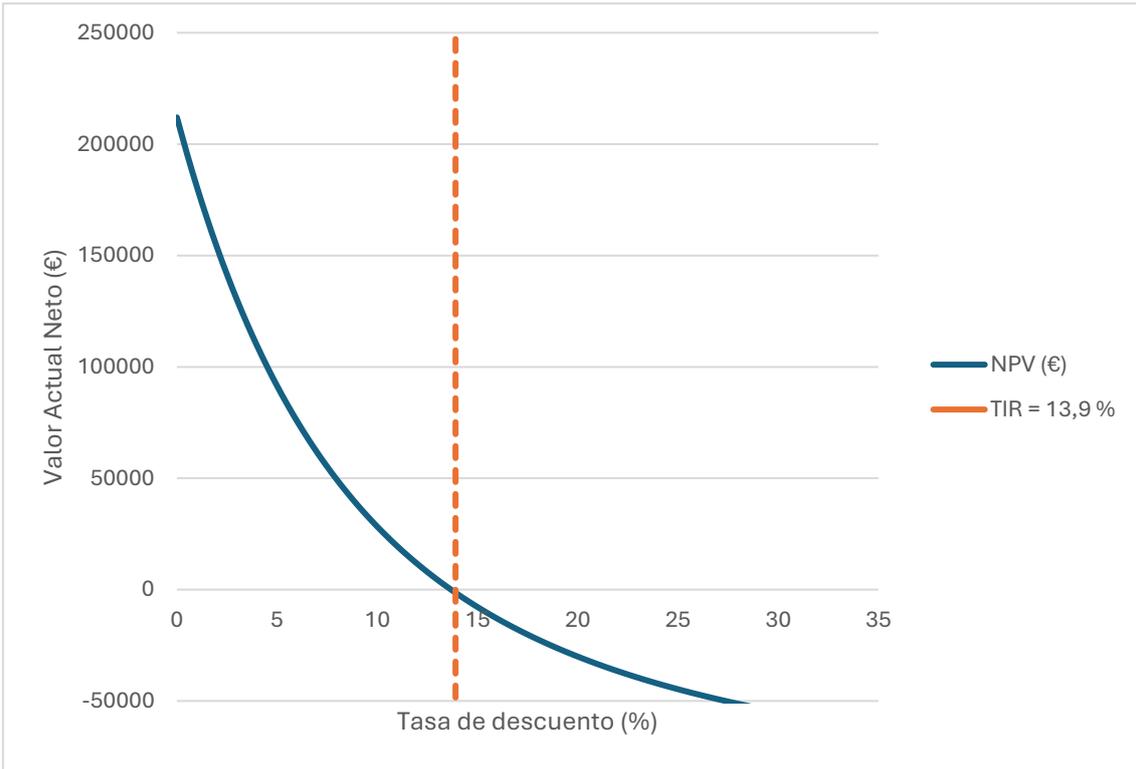
Fachada de la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2025.

La metodología del proyecto ha seguido un camino riguroso y bien definido. En primer lugar, se ha realizado un análisis exhaustivo del estado actual de la vivienda, investigando su estructura, materiales y deficiencias energéticas, como su falta de aislamiento y sus sistemas obsoletos. A continuación, se ha llevado a cabo una investigación profunda del estado del arte, comparando casos de estudio de rehabilitaciones energéticas similares en entornos patrimoniales. Esta fase nos permitió justificar la elección de cada sistema propuesto. El diseño y la justificación técnica de las soluciones se han dividido en capítulos específicos para abordar la climatización, la ventilación y la generación de energía renovable. Cada sistema ha sido seleccionado por su eficiencia y su capacidad para adaptarse al clima mediterráneo y a las limitaciones del proyecto. Por último, y como punto culminante del trabajo, se ha realizado un detallado análisis económico, que ha servido para validar la inversión necesaria y demostrar su rentabilidad a largo plazo.

| Concepto | Escenario base (€/año) | Escenario reformado (€/año) | Observaciones |
|---|------------------------|-----------------------------|---|
| Electricidad climatización + ACS | 18000 | 2500 | FV cubre gran parte del consumo |
| Electricidad otros usos (iluminación, cocina, ascensores, etc.) | 6000 | 6000 | No varía sustancialmente |
| Mantenimiento climatización/ventilación | 2000 | 1500 | Mejora en eficiencia, menor frecuencia de averías |
| Mantenimiento FV | - | 500 | Limpieza e inspección anual |
| Total anual | 26000 | 10500 | |

Comparativa de costes operativos y de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las conclusiones a las que llega este trabajo son claras y contundentes. Se ha demostrado que la inversión en la rehabilitación energética es una decisión sólida desde el punto de vista financiero. El coste total de la inversión se ha estimado en 108.000 €, pero los ahorros en costes operativos son tan significativos que el periodo de retorno de la inversión se ha calculado en un favorable 6,8 años. Este resultado no solo justifica el proyecto, sino que también establece un modelo replicable para futuras intervenciones en edificios patrimoniales. Al reducir los costes operativos anuales de 26.000 € a tan solo 10.500 €, este proyecto muestra que la inversión en la sostenibilidad no es un gasto, sino una estrategia financiera inteligente que asegura la viabilidad a largo plazo de estos edificios históricos.



Relación entre el Valor Actual Neto (VAN) y la tasa de descuento. Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Historic buildings bear witness to our past, but they also pose a challenge in the present. Their architectural and cultural value makes them fundamental elements of the urban landscape, but their energy efficiency is not exactly outstanding. In a world where sustainability and carbon emission reduction are among the main objectives, the energy rehabilitation of these buildings is essential. It is not just a question of modernizing them, but of integrating them into the ecological transition without compromising their essence. The application of innovative technologies makes it possible to reduce energy consumption, improve thermal comfort, and extend the useful life of these buildings, bringing them into line with the environmental demands of the 21st century.

Beyond energy efficiency, energy-efficient renovation of a historic building allows it to be reinvented as a functional and economically viable space. A clear example is its transformation into a sustainable hotel, a growing trend in many cities around the world. Energy modernization of these buildings not only leads to a reduction in operating costs, but also improves their appeal and integration into the tourism market.

This Master's Thesis focuses on a particularly interesting challenge: the energy renovation of a 1886 mansion located in the historic center of Mahón, Menorca. This emblematic 677 m² house, uninhabited since 1990, presents a unique opportunity to demonstrate how a building of high heritage value can be transformed into a modern and efficient infrastructure. The main objective is not only energy rehabilitation, but also conversion into a boutique hotel that can compete in today's market. Therefore, the research has focused on demonstrating the technical and economic feasibility of this transformation, proposing solutions that guarantee a drastic reduction in energy consumption without compromising the historical integrity of the property.



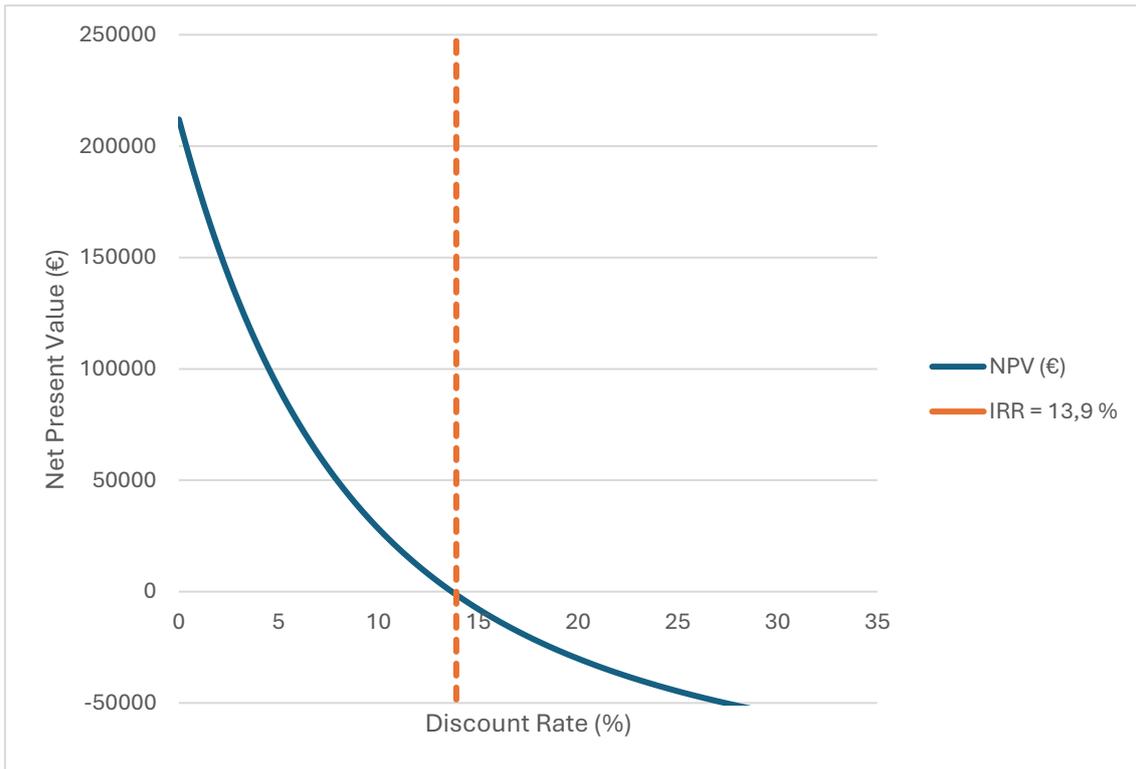
Facade of the house. Source: Own elaboration, 2025.

The project methodology followed a rigorous and well-defined path. First, a comprehensive analysis of the current state of the building was carried out, investigating its structure, materials, and energy deficiencies, such as its lack of insulation and obsolete systems. Next, an in-depth investigation of the state of the art was carried out, comparing case studies of similar energy renovations in heritage environments. This phase allowed us to justify the choice of each proposed system. The design and technical justification of the solutions have been divided into specific chapters to address air conditioning, ventilation, and renewable energy generation. Each system was selected for its efficiency and ability to adapt to the Mediterranean climate and the limitations of the project. Finally, and as the culmination of the work, a detailed economic analysis was carried out, which served to validate the necessary investment and demonstrate its long-term profitability.

| Concept | Base Scenario (€/year) | Renovated Scenario (€/year) | Comments |
|---|------------------------|-----------------------------|---|
| Electricity, air conditioning + DHW | 18000 | 2500 | PV covers a large part of consumption |
| Electricity for other uses (lighting, cooking, elevators, etc.) | 6000 | 6000 | Does not vary substantially |
| Air conditioning/ventilation maintenance | 2000 | 1500 | Improved efficiency, reduced breakdown rate |
| PV maintenance | - | 500 | Annual cleaning and inspection |
| Annual total | 26000 | 10500 | |

Comparison of operating and maintenance costs. Source: Own elaboration, 2025..

The conclusions reached in this study are clear and compelling. It has been demonstrated that investing in energy rehabilitation is a sound decision from a financial standpoint. The total cost of the investment has been estimated at €108,000, but the savings in operating costs are so significant that the return on investment period has been calculated at a favorable 6.8 years. This result not only justifies the project, but also establishes a replicable model for future interventions in heritage buildings. By reducing annual operating costs from €26,000 to just €10,500, this project shows that investing in sustainability is not an expense, but a smart financial strategy that ensures the long-term viability of these historic buildings.



*Relationship between Net Present Value (NPV) and discount rate. Determination of Internal Rate of Return (IRR).
Source: Own elaboration, 2025.*

2. Motivación

A la vista de los estudios previos y la necesidad de adaptar los edificios históricos a los estándares actuales, el proyecto busca transformar el hotel en un modelo de eficiencia energética sin comprometer su valor patrimonial. Dado su alto consumo de energía y las limitaciones propias de su antigüedad, la rehabilitación energética se plantea como una estrategia clave para modernizar sus instalaciones, mejorar su rendimiento operativo y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Convertirlo en un hotel sostenible no solo mejorará sus costes operativos, sino que también posicionará de manera más competitiva en el mercado turístico. La demanda de alojamientos con criterios ecológicos está en auge, por lo que la implementación de tecnologías eficientes será un elemento crucial para captar a un público cada vez más sensibilizado con el impacto ecológico⁷.

Esta renovación no solo ahorrará energía, sino que también mejorará el confort de los usuarios y optimizará la utilización de los recursos del edificio. Incluir técnicas de climatización avanzadas y fuentes de energía renovable disminuirá la necesidad de sistemas convencionales y favorecerá la descarbonización del sector hotelero.

El proyecto también ofrece la posibilidad de revalorizar la propiedad, ajustándolo a los nuevos criterios de sostenibilidad sin modificar su carácter arquitectónico. Mediante soluciones innovadoras, se conseguirá un equilibrio entre la conservación del patrimonio, la disminución del impacto ecológico y un incremento en la rentabilidad a largo plazo.

3. Objetivos del Proyecto

Una vez definida la motivación del proyecto, es necesario establecer objetivos claros que orienten la transformación del hotel logrando el equilibrio entre sostenibilidad y conservación patrimonial mencionado anteriormente. Los tres principales objetivos del proyecto son:

- Desarrollar un método eficiente de rehabilitación energética que permita reducir significativamente el consumo de energía del edificio sin comprometer su identidad arquitectónica. Para ello, se implementarán tecnologías avanzadas en climatización y

⁷ Rodríguez, Jacob, y Florido, 2020.

energías renovables, optimizando el aislamiento térmico y mejorando la gestión de los recursos energéticos. El objetivo es lograr una integración apropiada entre eficiencia energética y conservación del valor patrimonial, garantizando el confort de los futuros usuarios sin alterar la esencia del inmueble.

- Evaluar y optimizar la viabilidad operativa del edificio como hotel sostenible, asegurando que la inversión en eficiencia energética genere un impacto positivo tanto en la reducción de costes como en la rentabilidad a largo plazo. Se analizarán modelos de gestión energética y estrategias para maximizar el retorno de la inversión, posicionando el edificio como un referente en el mercado turístico de alojamientos sostenibles.

- Convertir el edificio en un modelo replicable de sostenibilidad e innovación, demostrando que es posible rehabilitar construcciones históricas con soluciones energéticas eficientes sin comprometer su valor arquitectónico. A través del uso de tecnologías sostenibles y estrategias de eficiencia adaptadas a su estructura, el proyecto servirá como referencia para futuras intervenciones en inmuebles con características similares, fomentando la transición hacia un sector hotelero más ecológico y responsable.

4. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Este proyecto está estrechamente ligado a varios ODS, ya que promueve el uso eficiente de la energía, la conservación del patrimonio y un enfoque más sostenible en el turismo. Su impacto es especialmente notable en el ODS 7, al apostar por energías renovables y sistemas de climatización optimizados que reducen el consumo energético y la dependencia de combustibles fósiles. A su vez, también está alineado con el ODS 11, al contribuir a la protección del legado cultural y fomentar un turismo más responsable. De esta forma, contribuye a redefinir la rehabilitación de edificios históricos bajo un enfoque sostenible en el sector hotelero.

5. Estado actual de la vivienda

La vivienda es una casa señorial de 1886 de 677 m² construidos y sin habitar desde el año 1990. Se encuentra en el corazón del centro histórico de Mahón, en frente de la iglesia de Santa María. La vivienda principal con entrada independiente se distribuye en cuatro plantas, más una planta semisótano grande y una terraza en la quinta planta con vistas al puerto de Mahón y el casco histórico.



Ilustración 1. Fachada de la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2025.

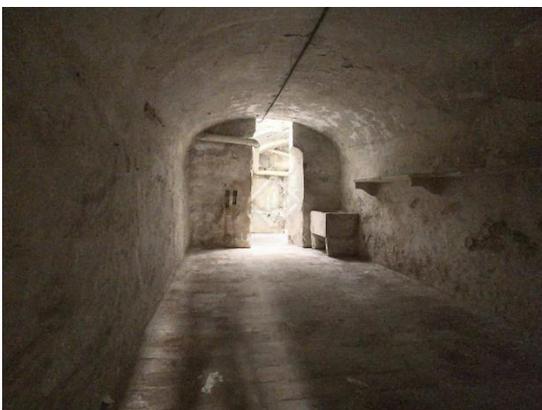
La fachada principal del edificio mantiene su aspecto original, típico de la arquitectura tradicional de Menorca del siglo XIX. Tiene tres plantas y una composición bastante simétrica, con muros de piedra arenisca local (marès) y detalles decorativos enmarcando ventanas y esquinas. Aunque en general se conserva bien, se notan zonas con desgaste, sobre todo en la planta baja, donde hay desgaste en el revestimiento exterior, fisuras y algo de suciedad acumulada en las cornisas. Las ventanas de madera y las contraventanas

negras también presentan cierto deterioro, pero no han sido modificadas ni sustituidas, lo que ayuda a conservar la imagen original del edificio. Cualquier actuación futura tendrá que respetar estos elementos, buscando siempre mejorar el comportamiento energético sin alterar su estética ni su estructura.

En el interior, al no estar habitada, la vivienda se encuentra completamente vacía y con algún habitáculo en no muy buenas condiciones. El interior conserva mucho del encanto original: techos altos, escaleras de piedra, puertas antiguas y una distribución que recuerda a las casas señoriales de la época. Al entrar, llama la atención la amplitud del recibidor y la escalera que conecta todas las plantas, con detalles que, aunque envejecidos, siguen teniendo presencia. Aun así, el estado general es bastante deteriorado: hay zonas con humedad, pintura desconchada, paredes agrietadas y restos de antiguas reformas o materiales almacenados sin uso. La planta sótano, con sus bóvedas de piedra, está sucia y muy afectada por la humedad, pero tiene mucho potencial si se acondiciona correctamente. Lo mismo ocurre con la planta alta, donde todavía se conserva un antiguo lavadero, bastante deteriorado, pero con posibilidades si se reforma con cuidado.

Actualmente, la casa cuenta con 19 dormitorios y solo 4 baños, una distribución que no encaja con el tipo de alojamiento que se quiere plantear. La idea es reconvertirla en un hotel boutique exclusivo, con pocas habitaciones, pero muy bien cuidadas. El objetivo sería crear entre 10 y 15 suites amplias, cada una con su propio baño y acabados de alto nivel. La escalera central se mantendría como elemento protagonista, y algunos detalles originales se podrían restaurar para dar personalidad al proyecto. Además, el sótano podría transformarse en una bodega, sala de juegos, o espacio para catas y eventos privados, lo que aportaría un valor diferencial. También se baraja la posibilidad de incluir una zona común tipo salón-biblioteca, un pequeño restaurante para desayunos o cenas, y una terraza en la cubierta con vistas al casco histórico. Todo esto se integraría con una reforma energética completa, incorporando sistemas eficientes y respetuosos con el carácter del edificio.





Como podemos observar en las imágenes superiores, el edificio presenta un estado general de conservación que combina elementos arquitectónicos de gran valor patrimonial con evidentes signos de deterioro, derivados tanto del paso del tiempo como de la falta de mantenimiento. Estas fotografías permiten apreciar la amplitud de los espacios, la calidad de algunos acabados originales y, al mismo tiempo, las patologías constructivas y carencias energéticas que justifican la necesidad de una intervención integral. En conjunto, esta colección de imágenes constituye la base para comprender el alcance del análisis y las propuestas que se desarrollarán en los capítulos posteriores.

6. Estado de la cuestión

La eficiencia energética se ha convertido en un pilar fundamental en la lucha contra el cambio climático y la sostenibilidad del entorno construido⁸. Con el sector de la edificación representando aproximadamente el 35-40% del consumo energético en la Unión Europea⁹, la optimización del rendimiento energético de los edificios es una prioridad internacional¹⁰. En este contexto, los edificios históricos presentan un desafío particular, ya que cualquier intervención debe equilibrar la reducción del consumo energético con la preservación del valor patrimonial y arquitectónico de las construcciones¹¹. Estos edificios presentan desafíos únicos debido a sus materiales y técnicas constructivas tradicionales¹². Estudios recientes han demostrado que, mediante estrategias adaptadas como la optimización de los sistemas de climatización y la gestión energética avanzada, es posible reducir significativamente la demanda energética de estos inmuebles sin comprometer su integridad¹³. La rehabilitación energética de edificios históricos no solo es una necesidad para cumplir con las normativas de eficiencia energética actuales, sino también una oportunidad para modernizar el parque edificado respetando su legado cultural y arquitectónico.

A nivel europeo, la política energética está marcada por la estrategia del Pacto Verde Europeo, cuyo objetivo es alcanzar la neutralidad climática para 2050¹⁴. En este sentido, la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (EPBD) ha sido revisada para incluir criterios más estrictos en la rehabilitación energética, priorizando los edificios de mayor consumo energético, entre los cuales se incluyen los edificios históricos¹⁵. Programas como el *Renovation Wave* y los fondos NextGenerationEU están impulsando una transformación del sector de la construcción hacia modelos más sostenibles y eficientes. Esto se traduce en una mayor demanda de tecnologías innovadoras capaces de integrarse en el patrimonio edificado sin alterar su estética ni su integridad estructural.

En cuanto a las tecnologías emergentes, la rehabilitación de edificios históricos está avanzando hacia la optimización de los sistemas de climatización y la eficiencia de los

⁸ Directiva (UE) 2024/1275.

⁹ European Commission, 2020.

¹⁰ Panakaduwa, Coates, y Munir, 2024.

¹¹ Borrallo-Jiménez et al., 2022.

¹² Wise, Jones, y Moncaster, 2021.

¹³ Panakaduwa, Coates, y Munir, 2024.

¹⁴ Europea y Comunicación, 2021.

¹⁵ Pierre, 2024.

equipos. La implementación de bombas de calor geotérmicas y sistemas de volumen de refrigerante variable (VRV/VRF) está ganando popularidad por su capacidad de adaptarse a variaciones de demanda sin comprometer la eficiencia energética ¹⁶. Además, se están implementando sistemas de almacenamiento térmico que permiten aprovechar la energía generada en momentos de menor consumo para ser utilizada posteriormente. Otro avance importante es el uso de sistemas de gestión energética basados en inteligencia artificial, los cuales permiten la monitorización en tiempo real del comportamiento energético del edificio y la optimización automática del consumo¹⁷.

En este capítulo se recogen seis casos de rehabilitación energética en edificios históricos que resultan especialmente relevantes para este trabajo. La selección se ha hecho teniendo en cuenta la diversidad geográfica, tipológica y tecnológica de los casos, con el objetivo de mostrar diferentes estrategias de intervención que sean compatibles con la conservación del patrimonio. Aunque no todos los casos son aplicables directamente al contexto de Mahón, aportan referencias valiosas sobre el potencial de las energías renovables, las soluciones pasivas y la integración de tecnologías eficientes en entornos protegidos.

Uno de los casos más representativos de rehabilitación energética en el ámbito hotelero patrimonial es el trabajo de fin de grado de Manuel Jesús Sola Carrión, titulado *“Rehabilitación energética en hotel rural usando energías renovables: energía solar térmica y energía geotérmica”*¹⁸, desarrollado en la Universidad de Jaén. El estudio propone la transformación de una antigua vivienda rural en un pequeño hotel ubicado en una zona de clima cálido, lo que guarda ciertas similitudes con el caso analizado en este trabajo.

El enfoque del autor se basa en un análisis climático y de la demanda energética, que justifica la necesidad de actuar. A partir de ello, propone un sistema de producción térmica combinado: geotermia de baja entalpía con bomba de calor agua-agua, apoyada por una instalación de energía solar térmica. El sistema se dimensiona para cubrir tanto calefacción como ACS, empleando suelo radiante como sistema de emisión, en una clara apuesta por el confort térmico y la eficiencia. El trabajo justifica la elección de la

¹⁶ Borrallo-Jiménez et al., 2022.

¹⁷ Feng, Ge, y Meng, 2024.

¹⁸ Sola Carrión, 2023.

geotermia por su estabilidad de rendimiento, alto COP estacional y baja visibilidad en entornos patrimoniales.

Además, se proyecta una envolvente térmica reforzada mediante aislamiento interior en muros y cubierta, así como ventanas con doble acristalamiento y rotura de puente térmico. La propuesta incorpora también un sistema de ventilación mecánica controlada con recuperación de calor, lo que mejora considerablemente la eficiencia global del edificio.

Una parte interesante del trabajo es su comparativa energética entre el estado actual del edificio y la solución proyectada, donde se calcula una reducción de la demanda de calefacción en torno al 60 % y un ahorro energético global cercano al 50 %. El análisis económico estima un retorno de la inversión en torno a los 10-12 años, contemplando posibles ayudas o subvenciones.

Desde el punto de vista crítico, la propuesta es ambiciosa y tecnológicamente avanzada, aunque quizás no totalmente replicable en contextos urbanos consolidados o en edificaciones con restricciones arqueológicas, como es el caso del centro histórico de Mahón. En este sentido, soluciones como la geotermia con perforación vertical pueden quedar descartadas por limitaciones normativas o constructivas. Sin embargo, la lógica de combinar bomba de calor con emisores de baja temperatura y ventilación con recuperación es plenamente extrapolable.

Mientras el caso anterior se centraba en un pequeño hotel rural con fuerte apuesta por la geotermia, el siguiente ejemplo muestra cómo una estrategia de rehabilitación integral en un edificio educativo puede lograr resultados igualmente destacados mediante tecnologías más generalizables, como la aerotermia y la energía fotovoltaica.

El proyecto llevado a cabo por Estela Martín¹⁹ aborda la rehabilitación energética de un colegio construido en 2002, en un contexto en el que las normativas de eficiencia energética aún no estaban vigentes. El proyecto se plantea con el objetivo de reducir la huella de carbono del edificio y optimizar su comportamiento energético, a través de intervenciones técnicas centradas en tres ejes principales: reducción de la demanda energética, optimización del consumo y fomento del autoconsumo renovable.

En primer lugar, se actúa sobre la envolvente térmica del edificio mediante la mejora del aislamiento en fachadas, cubiertas y particiones interiores, así como la sustitución de

¹⁹ Martín García, 2025.

ventanas por unidades de PVC con doble acristalamiento y rotura de puente térmico. Estas medidas permiten reducir notablemente las cargas térmicas del edificio, lo que se traduce en una disminución del 42 % en su demanda energética para calefacción.

En segundo lugar, se sustituye la antigua caldera de gasóleo por un sistema de aerotermia de 18 kW, que proporciona calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS) con un consumo eléctrico significativamente menor y sin emisiones directas de CO₂. A esta medida se suma la renovación del sistema de iluminación, reemplazando luminarias fluorescentes por tecnología LED, lo que reduce a la mitad el consumo eléctrico asociado a la iluminación del centro.

Finalmente, se implementa una instalación fotovoltaica para autoconsumo, compuesta por 30 paneles solares de 450 Wp cada uno (13,5 kWp en total), conectados a un inversor de 12,5 kW y configurados para verter excedentes a la red. Esta instalación, correctamente dimensionada y protegida conforme a la normativa vigente, permite al colegio generar una parte importante de la electricidad que consume.

Los resultados globales del proyecto son muy positivos, ya que la calificación energética del edificio mejora desde una D (192,8) hasta una A (34,1), lo que implica un aumento del 82,31 % en eficiencia energética. Además, el análisis económico demuestra que las medidas propuestas son no solo técnicamente viables, sino también económicamente rentables, con periodos de amortización razonables y retornos de inversión favorables.

A diferencia de los casos anteriores, el siguiente proyecto se desarrolla en un edificio patrimonial ubicado en el centro histórico de Roma, donde las restricciones normativas limitan notablemente las posibilidades de intervención. A pesar de ello, se logran mejoras energéticas significativas mediante soluciones discretas y reversibles, especialmente relevantes en contextos protegidos como el que plantea este proyecto en Menorca.

Este estudio²⁰ analiza la rehabilitación energética de un edificio histórico en Roma, construido a inicios del siglo XX y sometido a importantes restricciones patrimoniales por su localización en una zona arqueológica protegida. A pesar de estas limitaciones, se logró implementar un conjunto de tecnologías cuidadosamente seleccionadas que permiten mejorar sustancialmente el comportamiento energético del edificio sin comprometer su valor arquitectónico.

²⁰ Battista et al., 2022.

Una de las intervenciones clave fue la mejora de la envolvente térmica mediante soluciones de bajo impacto visual. Dado que no era posible aislar por el exterior, se aplicó una pintura térmica en el interior de los muros, con una conductividad de $0,08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y un espesor total de $0,6 \text{ mm}$, que permitió una leve reducción de la transmitancia sin alterar la apariencia original. Las ventanas existentes, de doble acristalamiento básico, fueron optimizadas mediante la incorporación de láminas solares reflectantes, compuestas por poliéster y aluminio, que redujeron el factor solar de $0,75$ a $0,36$ y disminuyeron significativamente la ganancia térmica por radiación. En la cubierta, se instalaron paneles aislantes de poliuretano de 5 cm de espesor, lo que mejoró notablemente el aislamiento térmico sin alterar la forma original del edificio.

En cuanto a los sistemas activos, se adoptaron medidas de gestión inteligente del sistema de climatización, incluyendo sensores que desconectan automáticamente el HVAC al abrirse las ventanas, evitando pérdidas energéticas por hábitos inadecuados de uso. Se sustituyó el sistema de refrigeración existente por uno de mayor eficiencia (de EER 2.87 a 3.5), mejorando el rendimiento sin necesidad de modificar la distribución de equipos. La iluminación fue completamente renovada mediante la instalación de luminarias LED de bajo consumo y la incorporación de sensores de presencia y de luz natural en zonas comunes, reduciendo la carga eléctrica instalada de 8.07 W/m^2 a 4.82 W/m^2 .

Una de las soluciones más innovadoras fue la instalación de un sistema fotovoltaico cuidadosamente diseñado para respetar el entorno histórico. Los módulos, con un rendimiento del 16.74% , fueron ubicados en la terraza del último nivel con una inclinación discreta de 10° y una coloración similar al suelo, minimizando su visibilidad desde otros edificios. La orientación se dividió entre este y oeste para adaptarse a las limitaciones del emplazamiento, alcanzando una potencia total instalada de 78.4 kW y una producción anual de $104,685 \text{ kWh}$.

Las intervenciones propuestas se evaluaron utilizando el software RETScreen Expert 8, calibrando el modelo con datos reales de consumo energético del edificio. Los resultados del análisis evidencian reducciones importantes: un $36,9\%$ en la demanda térmica, un $72,3\%$ en el consumo eléctrico y un $62,7\%$ en las emisiones de gases de efecto invernadero.

El siguiente ejemplo se sitúa en un contexto rural de alta montaña, donde las condiciones climáticas extremas y el estado de abandono del edificio plantean otro tipo de desafíos

técnicos y de eficiencia energética, igualmente relevantes para una rehabilitación con criterios de sostenibilidad.

El trabajo²¹ aborda la rehabilitación energética integral de un hotel rural situado en el municipio de Allepuz (Teruel), con una superficie construida de 701,86 m². El edificio, construido entre las décadas de 1980 y 1990 y actualmente en desuso, será reacondicionado para convertirse en un alojamiento rural de pequeña capacidad, con cuatro habitaciones dobles y un restaurante con espacio para 60 comensales, ubicado en un entorno de alta montaña a 1.474 metros de altitud.

Entre las soluciones tecnológicas seleccionadas destaca el uso de una bomba de calor aire-agua como sistema centralizado para la climatización y la producción de ACS, en sustitución de equipos convencionales. Esta elección responde a criterios de eficiencia energética, versatilidad y adecuación al clima continental de la zona. Para la producción de ACS se incorpora además un sistema de captación solar térmica mediante paneles, con acumuladores dimensionados para cubrir la demanda en los picos de consumo. La ventilación se resuelve mediante un sistema de extracción mecánica, adaptado a las exigencias del CTE y del RITE, con caudales diseñados conforme a la ocupación prevista y la categoría IDA 3 de calidad del aire interior.

El análisis energético, desarrollado con herramientas como CE3X y CLIMA (Atecyr), identifica una demanda térmica significativa tanto en calefacción como en refrigeración, con cargas pico de -76,17 kW (febrero) y 68,27 kW (agosto), respectivamente. La demanda de ACS se estima en 829 litros diarios a 60 °C, lo que representa una energía diaria de 51,93 kWh y una potencia pico instantánea de 263,85 kW. Estas cifras justifican la elección de sistemas térmicos con acumulación y generación distribuida.

Inicialmente, el edificio obtiene una calificación energética tipo C en consumo de energía primaria no renovable (251,3 kWh/m²·año) y tipo B en emisiones de CO₂ (42,6 kgCO₂/m²·año). A partir de estos resultados, se plantean tres medidas correctoras: aislamiento térmico exterior en fachada, mejora del aislamiento en cubierta, y sustitución de acristalamientos por otros de mayor capacidad aislante. Con estas intervenciones se mejora la calificación energética a B en consumo (220 kWh/m²·año) y se reducen las emisiones a 37,3 kgCO₂/m²·año.

²¹ Moya Villarreal, 2024.

El coste total estimado del proyecto asciende a 73.328,39 €, incluyendo todas las partidas de instalación definidas. El trabajo no solo cumple con los criterios técnicos y normativos actuales, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética aplicables a entornos rurales, lo que lo convierte en un modelo replicable para intervenciones similares en el medio natural.

En una línea similar de uso hotelero, pero con una orientación más patrimonial y cultural, el siguiente caso propone la transformación de una casona del siglo XVII en un hotel boutique. La propuesta combina estrategias bioclimáticas y tecnologías limpias en un entorno histórico altamente sensible.

El proyecto²² desarrolla una propuesta integral de rehabilitación arquitectónica para un edificio del siglo XVII, ubicado en el centro histórico de la ciudad de Puebla, con la finalidad de transformarlo en un hotel boutique que conserve su valor patrimonial y a la vez incorpore soluciones tecnológicas sostenibles.

Uno de los pilares fundamentales del proyecto es la incorporación de energías renovables. En este sentido, se propone la instalación de un sistema fotovoltaico conformado por doce paneles de 410 W cada uno, con una capacidad total estimada de 4.92 kilovatios, que permitirá abastecer de energía eléctrica a las áreas comunes del hotel. Asimismo, se prevé la implementación de calentadores solares de tubo evacuado, con capacidad de 300 l/u, para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria en las habitaciones. Estas medidas se complementan con un sistema de captación de agua pluvial, que conducirá el agua recolectada hacia un tanque de almacenamiento para su reutilización en tareas de limpieza y riego.

El diseño arquitectónico también contempla soluciones pasivas como la ventilación natural cruzada, favorecida por la distribución en torno a patios interiores, así como la maximización de la iluminación natural durante el día, lo cual reduce considerablemente el consumo energético. Para la iluminación artificial, se recurre a luminarias LED de bajo consumo, cuidadosamente integradas para no alterar la estética del edificio. En cuanto a los materiales, se prioriza el uso de aquellos compatibles con la construcción original, como la cal, el barro cocido, la piedra y selladores ecológicos, evitando productos agresivos o sintéticos que puedan dañar la estructura histórica.

²² Juárez Hernández, 2025.

Los resultados esperados del proyecto apuntan a una reducción significativa en el consumo de energía y agua potable, una mejora sustancial en el confort térmico y lumínico de los espacios, y una prolongación de la vida útil del edificio mediante técnicas de restauración adecuadas. Además, se busca revitalizar la zona urbana mediante el turismo cultural, reactivando su valor económico y social.

Por último, se presenta un caso especialmente destacado por su alto nivel de ambición técnica y energética: la rehabilitación del Pabellón 21 en Viena. El proyecto incorpora soluciones de alta eficiencia, como paneles solares híbridos PVT, sistemas de ventilación con recuperación de calor y un aislamiento térmico avanzado.

En la rehabilitación energética del Pabellón 21²³, situado en el histórico complejo Otto Wagner Areal en Viena, se ha desarrollado una intervención ejemplar que combina la preservación patrimonial con la implementación de tecnologías de alta eficiencia energética. El objetivo del proyecto fue alcanzar una condición de edificio de energía neta positiva adaptando un pabellón de principios del siglo XX como residencia estudiantil. Para ello, se optó por un enfoque integral basado en estrategias pasivas, sistemas de generación renovable y soluciones constructivas avanzadas, todo ello respetando la integridad estética del inmueble.

La mejora de la envolvente térmica fue una de las intervenciones clave. Se introdujo un sistema mixto de aislamiento interior compuesto por paneles rígidos de celulosa, seleccionados por su permeabilidad al vapor y baja conductividad térmica ($0,027 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), y paneles VIP (Vacuum Insulation Panels) en zonas donde el espesor debía minimizarse, como la cubierta perimetral. Estos últimos presentan una conductividad extremadamente baja (hasta $0,003 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que permitió mejorar la resistencia térmica sin alterar los perfiles arquitectónicos originales. Las ventanas existentes se conservaron exteriormente y se añadió un sistema de doble carpintería interior con triple acristalamiento, logrando reducir el valor U hasta $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. También se incorporaron barreras de vapor estratégicamente ubicadas para preservar el equilibrio higrotérmico de los muros de mampostería existentes.

En cuanto a los sistemas de generación energética, el edificio se equipó con una instalación híbrida renovable compuesta por varias tecnologías. En la cubierta se dispusieron 160 módulos PVT (fotovoltaico-térmicos) con una inclinación de 25° y una

²³ Elnagar, Munde, y Lemort, 2021.

superficie colectora de 264 m², capaces de generar simultáneamente electricidad y calor, alcanzando un rendimiento del 86,2%. Esta solución permitió reducir el espacio ocupado por instalaciones sin renunciar a la producción térmica necesaria. Para la producción de agua caliente sanitaria se añadieron 20 colectores solares térmicos planos (40 m² en total), cubriendo el 61% de la demanda diaria estimada (24.220 kWh anuales). A ello se sumó un sistema de geotermia con bomba de calor acoplada a un campo de 4 sondeos verticales de 50 metros, que generó más del 75% de la energía térmica anual para calefacción (36.509 kWh), con una temperatura de entrada/salida de 10,4 °C / 9,3 °C.

La estrategia se completó con la incorporación de un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor (HRV) de alta eficiencia y una distribución por radiadores alimentados con energía renovable. La simulación energética mostró una reducción del 78,2% en la demanda energética total del edificio (de 248,9 a 54,3 kWh/m²·año) y una reducción del 89,8% en la demanda térmica específica de calefacción, alcanzando valores cercanos al estándar Passivhaus austríaco (15 kWh/m²·año).

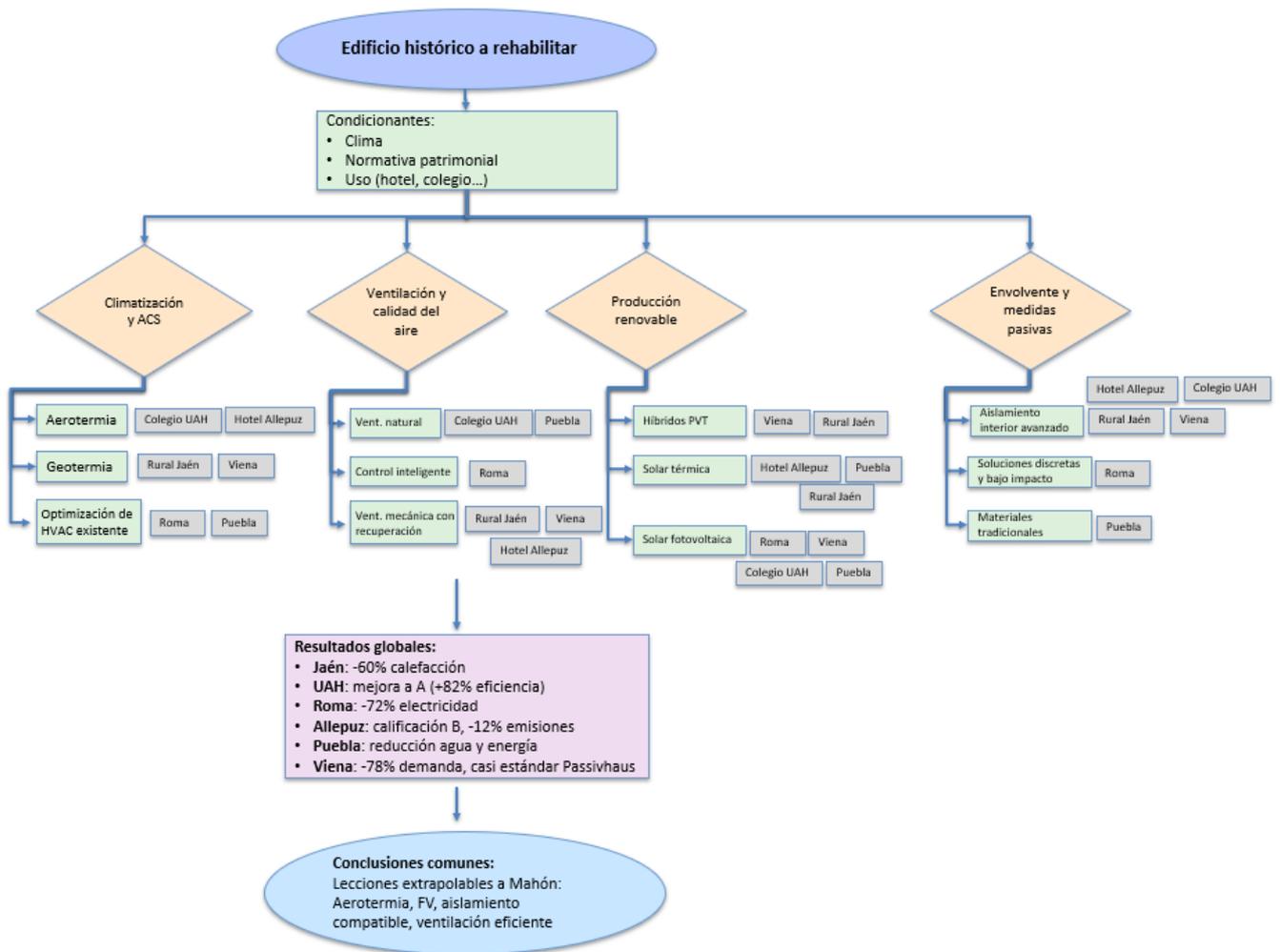


Ilustración 2. Ordinograma comparativo de los seis proyectos analizados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

El recorrido por estos seis casos demuestra la versatilidad de enfoques existentes para abordar la rehabilitación energética en edificios históricos. Desde la aplicación combinada de renovables en alojamientos rurales hasta la integración casi invisible de tecnología en centros urbanos patrimonializados, cada ejemplo aporta soluciones diferentes y evaluaciones críticas que enriquecen el marco de referencia de este trabajo. En conjunto, ofrecen una base sólida para justificar las decisiones de diseño adoptadas en los capítulos posteriores, siempre desde una perspectiva contextual, sostenible y respetuosa con el patrimonio construido.

7. Adaptación de las soluciones al emplazamiento del caso de estudio

En este capítulo se aterrizan las estrategias energéticas analizadas en el estado de la cuestión, aplicándolas al caso concreto del edificio situado en el centro histórico de Mahón. A partir de sus particularidades climáticas, normativas y patrimoniales, se justifica la elección de las soluciones más adecuadas en cada ámbito: climatización, ventilación, producción renovable y mejora de la envolvente. El objetivo es encontrar un equilibrio realista entre eficiencia energética, viabilidad técnica y respeto por el valor histórico del edificio.

7.1. Climatización

En esta sección se analizan distintas soluciones disponibles en el mercado actual, evaluando su viabilidad en el contexto específico del edificio ubicado en el centro histórico de Mahón hasta llegar a la elección razonada del sistema más adecuado.

En primer lugar, debemos estudiar la singularidad del clima de Mahón. Menorca es una isla situada en medio del mediterráneo y caracterizada por tener inviernos suaves y veranos cálidos. Según los datos de la AEMET:

- Temperatura media anual: 17,2 °C
- Temperatura media en enero (mes más frío): 11 °C
- Temperatura media en agosto (mes más cálido): 26 °C
- Temperatura mínima media: rara vez baja de 5 °C
- Temperatura máxima media: raramente supera los 32 °C

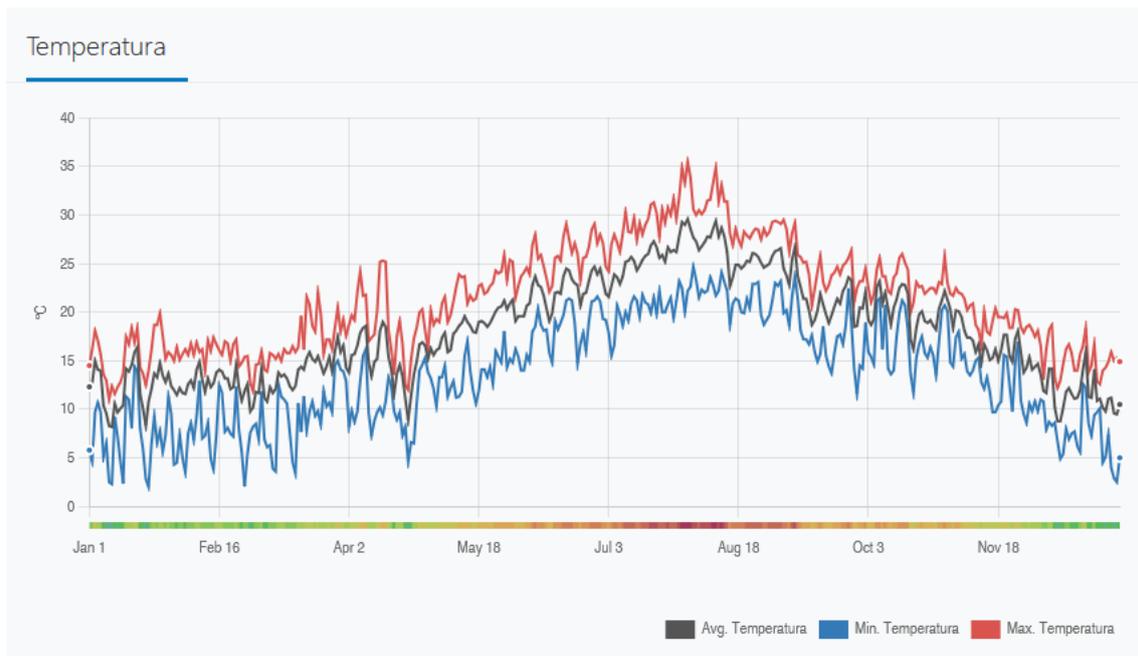


Ilustración 3. Temperaturas mínimas, máximas y media en Mahón en 2024. Fuente: Meteostat, 2024

Además, la isla tiene una humedad relativa media bastante elevada, de entre el 70-80% especialmente en los meses más fríos. Esta humedad puede generar sensaciones térmicas de frío o calor más elevadas y favorece la aparición de condensaciones y moho si no se gestiona correctamente.

Estudios científicos destacan que mantener la humedad relativa interior en un rango del 40 al 60% contribuye significativamente al confort térmico y a la prevención de problemas higrotérmicos en hoteles y edificios patrimoniales.²⁴

Por lo tanto, la elección del sistema de climatización debe responder a estas condiciones climáticas, apostando por tecnologías con buen rendimiento a temperaturas exteriores moderadas, como puede ser la aerotermia²⁵; que integren funciones de deshumidificación activa en verano para mejorar la sensación térmica en entornos húmedos, y que sean capaces de operar eficientemente con una baja demanda térmica en invierno, lo que permite emplear sistemas de emisión a baja temperatura.

Se analizan a continuación las tecnologías disponibles más frecuentes.

²⁴ Pérez-Lombard, Ortiz, y Pout, 2008.

²⁵ Di Schio, Ballerini, y Valdiserri, 2022.

Los sistemas basados en gasoil, gas natural, o propano son tecnologías tradicionales con una elevada emisión de CO₂, altos costes operativos, y no muy alineados con las estrategias actuales de sostenibilidad. Es por este motivo que se han descartado estos sistemas en el contexto de una rehabilitación energética orientada a la eficiencia y a la sostenibilidad.

La biomasa representa una opción renovable con un balance neutro en emisiones de carbono, pero con ciertas limitaciones que podrían influir a nuestro caso de estudio. Al tratarse de un hotel boutique, la necesidad de almacenar combustible, la generación de residuos, y el complejo mantenimiento hacen que la selección de este sistema no sea del todo ideal.

En cuanto a la geotermia, se trata de una solución muy eficiente y con una gran estabilidad energética, pero resulta inviable en este caso concreto. El edificio objeto del estudio se encuentra en el núcleo urbano de Mahón, donde no es posible realizar perforaciones verticales debido a la falta de espacio exterior²⁶, las restricciones normativas de protección patrimonial, y la protección del subsuelo establecida por la normativa local. El *Pla Territorial Insular de Menorca* establece en su normativa general que los usos del subsuelo en áreas urbanas consolidadas o de interés patrimonial deberán someterse a evaluaciones ambientales y patrimoniales adecuadas. Además, el Artículo 7.4.1 del Catálogo Arqueológico del PGOU de Mahón indica: “Tota obra o remoció de terres que es dugui a terme a l’àmbit del catàleg restarà sotmesa a una autorització específica i prèvia de la Comissió Insular de Patrimoni Històric.” (Toda obra o remoción de tierras que se lleve a cabo en el ámbito del catálogo estará sujeta a una autorización específica y previa de la Comisión Insular de Patrimonio Histórico.)²⁷

Finalmente, la aerotermia se presenta como una alternativa particularmente apropiada. Esta tecnología utiliza la energía térmica del aire exterior para satisfacer las demandas de calefacción, refrigeración, y agua caliente sanitaria (ACS). Su funcionamiento es especialmente efectivo en climas templados como el de Menorca, donde conserva niveles altos de rendimiento incluso con temperaturas exteriores moderadamente bajas, entre 5 y 10 °C.²⁸

²⁶ Haehnlein, Bayer, y Blum, 2010.

²⁷ Ajunt. Maó, «PGOU 2012 (Vigente en la actualidad)».

²⁸ Hepbasli y Kalinci, 2009.

Estudios recientes indican que en estas condiciones climáticas se puede lograr un COP de entre 3,5 y 4,5 en sistemas de bombas de calor aire-agua. Un estudio realizado en Grecia, donde las características climáticas se asemejan a las de Menorca, analizó el rendimiento estacional de 100 modelos comerciales de bombas de calor aire-agua, y concluyó que una gran parte de ellos alcanzan valores de SCOP (Seasonal COP) superiores a 3, especialmente cuando operan con emisores a baja temperatura y en zonas de clima templado.²⁹ Estos resultados, junto a su menor coste de instalación respecto a otras tecnologías renovables, refuerzan la idoneidad de la aerotermia como solución eficiente para entornos con inviernos suaves y alta humedad relativa.

A continuación, se muestran varias figuras donde se analiza de forma comparativa el rendimiento y el impacto económico y ambiental de las distintas tecnologías. Estas gráficas aportan contexto cuantitativo útil para entender la elección de la instalación de aerotermia en este proyecto.

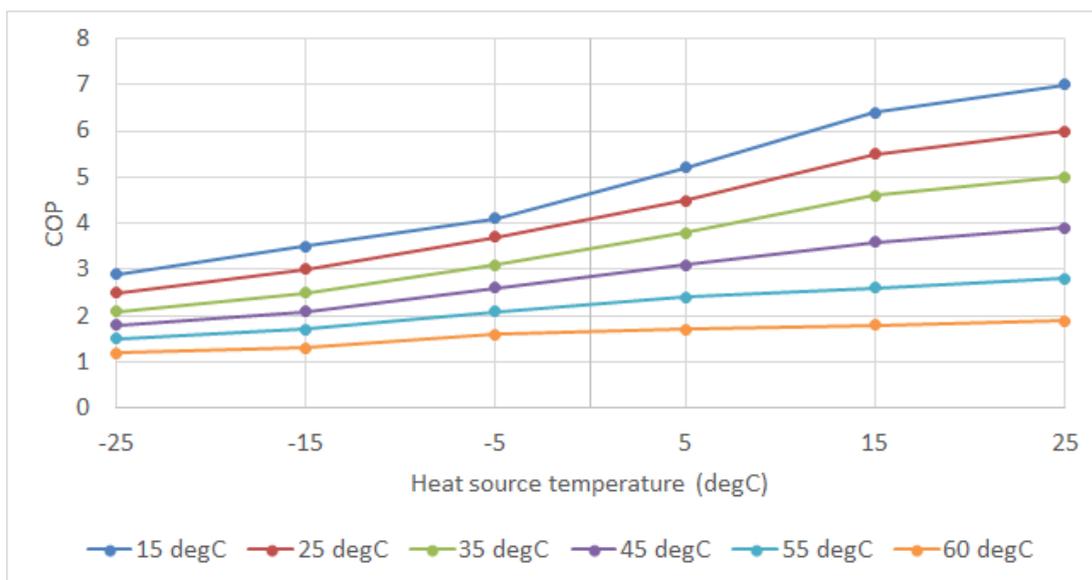


Ilustración 4. Variación del COP de una bomba de calor aire-agua en función de la temperatura exterior y de la temperatura de impulsión. Fuente: Hirvonen y Sirén, 2017.

La Ilustración 4 muestra la variación del rendimiento de una bomba de calor en función de la temperatura exterior. Se observa que es especialmente eficiente en climas suaves como el de Mahón donde las temperaturas rara vez son extremas.

²⁹ Mouzeviris y Papakostas, 2022.

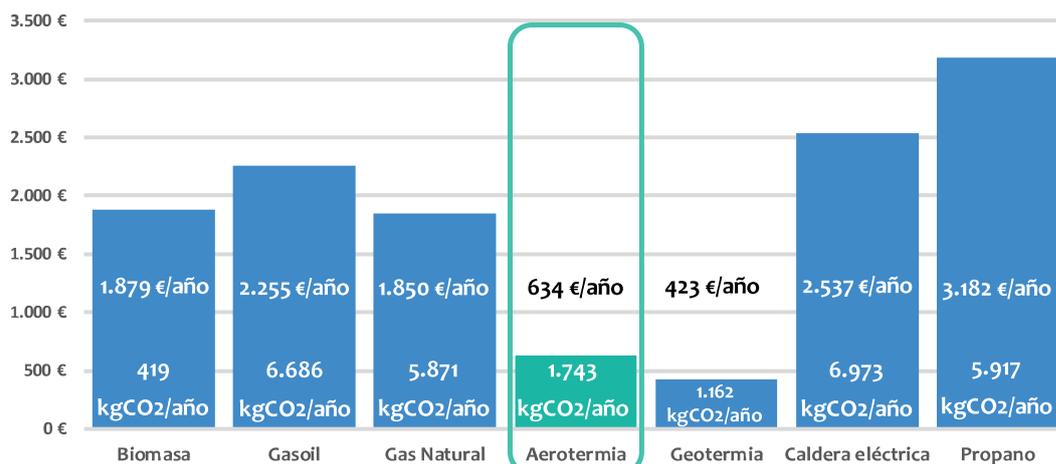


Ilustración 5. Ejemplo de gasto anual en calefacción y emisiones de CO2 para vivienda unifamiliar de 180m2 en Madrid. Fuente: Enerpop, 2018

En la Ilustración 5 podemos observar una comparativa del gasto anual en calefacción y las emisiones de CO₂ asociadas a distintas tecnologías. A primera vista, la geotermia aparece como la opción más eficiente tanto energética como ambientalmente, con el menor consumo y las menores emisiones. Sin embargo, esta lectura es incompleta si no se considera el elevado coste de instalación que implica esta tecnología, especialmente en contextos urbanos y patrimoniales donde su implantación suele ser inviable, como ocurre en el caso del edificio de Mahón.

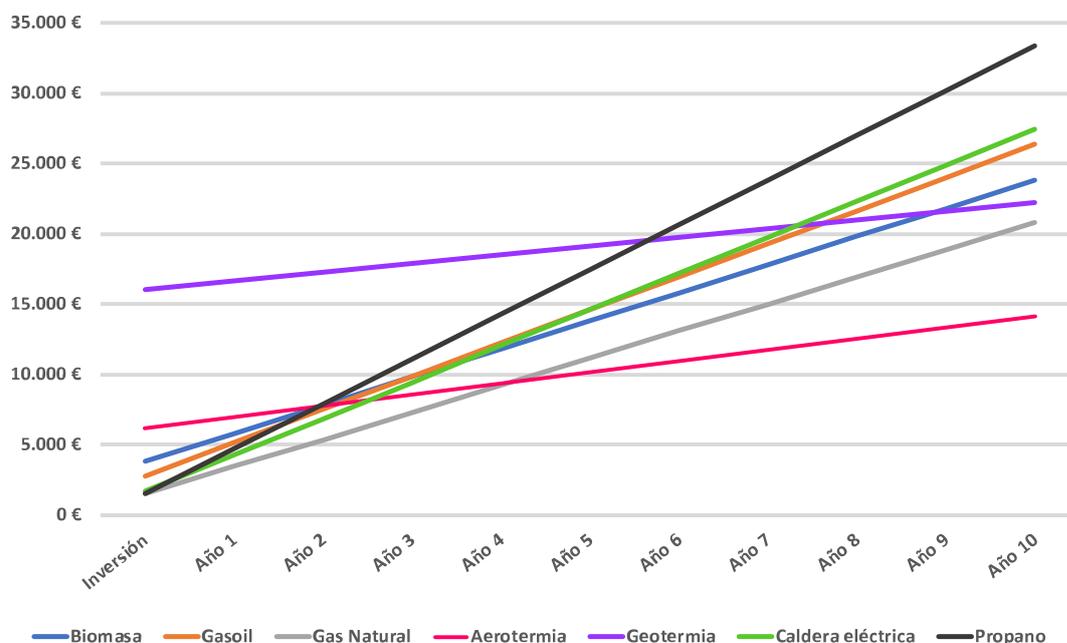


Ilustración 6. Gastos teniendo en cuenta inversión, gasto de energía y mantenimiento para vivienda unifamiliar de 180m2 en Madrid. Fuente: Enerpop 2018

La Ilustración 6 compara el coste total acumulado de distintas tecnologías de calefacción a lo largo de 10 años, incluyendo instalación, consumo y mantenimiento. La aerotermia destaca como la opción más rentable a partir del cuarto año, gracias a su alta eficiencia y bajos costes operativos. Aunque la geotermia es aún más eficiente, su elevado coste inicial impide que compense económicamente en este periodo.

A pesar de que las Ilustraciones 3 y 4 están basadas en datos de Madrid, su extrapolación a Menorca es válida e incluso conservadora, ya que el clima mediterráneo permite un rendimiento estacional (SCOP) aún superior.

Una vez analizadas las alternativas disponibles y sus respectivas limitaciones, la aerotermia se consolida como la solución más adecuada para el sistema de climatización del edificio. No obstante, su implementación requiere seleccionar un sistema de distribución térmica que garantice tanto la eficiencia energética como el confort interior, respetando a su vez el carácter patrimonial del edificio.

Se contemplan dos opciones principales de emisores térmicos. Por un lado, los fancoils, que permiten tanto calefacción como refrigeración, tienen una respuesta rápida y ofrecen la ventaja adicional de deshumidificar el aire en verano. Estas unidades son especialmente adecuadas para espacios que requieren una respuesta térmica inmediata o donde se priorice una instalación más sencilla.

Por otro lado, el suelo radiante representa una solución que proporciona un confort térmico uniforme, sin corrientes de aire. Es especialmente eficaz para calefacción, aunque también puede utilizarse para refrescar el ambiente si se gestiona correctamente la humedad interior. Estudios recientes demuestran que, en sistemas mixtos que combinan suelo radiante y fancoils en entornos de alta humedad, se logra confort térmico eficiente sin riesgo de condensación en el suelo³⁰, lo que refuerza la viabilidad de esta opción incluso en climas húmedos. Su instalación implica una intervención directa sobre el suelo, pero dado que en este proyecto se contempla una renovación completa de los suelos, no supone una limitación relevante.

En este caso concreto, la solución más equilibrada consiste en combinar ambos sistemas. En las zonas comunes y habitaciones que no tengan un suelo con valor patrimonial interesante, se optará por la instalación de suelo radiante. En cambio, en habitaciones que

³⁰ Zhu et al., 2022.

conserven suelos originales o en espacios con techos altos donde el rendimiento del suelo radiante sería menor, se instalarán fancoils.

Esta estrategia mixta permite que el sistema de aerotermia funcione siempre a baja temperatura, lo que mejora notablemente su eficiencia energética y contribuye a prolongar la vida útil de los equipos³¹.

Por último, el sistema se completará con la instalación de placas solares fotovoltaicas en la cubierta del edificio. Aunque existen limitaciones normativas y de visibilidad en entornos patrimoniales, se valorará la integración de módulos tipo BIPV (Building Integrated Photovoltaics) o soluciones discretas, compatibles con la imagen protegida del edificio.

Esta instalación cubriría parcialmente el consumo eléctrico del sistema de climatización, especialmente de la bomba de calor aerotérmica, reduciendo así la dependencia energética de la red y las emisiones asociadas. Estudios recientes confirman que los sistemas híbridos que combinan aerotermia con energía solar fotovoltaica ofrecen altos niveles de eficiencia energética y viabilidad económica en proyectos de rehabilitación energética de edificios existentes.³²

Además, la estrategia planteada garantiza que la bomba de calor funcione preferentemente a baja temperatura de impulsión, lo que no solo incrementa su eficiencia estacional (SCOP), sino que también reduce el estrés mecánico en componentes clave como el compresor. Esta operación en condiciones suaves y estables contribuye de forma directa a la prolongación de la vida útil del sistema, disminuyendo la frecuencia de averías y los costes de mantenimiento a largo plazo.

En conclusión, tras analizar el contexto climático, normativo y constructivo de Menorca, la aerotermia emerge como la tecnología más adecuada por su equilibrio entre eficiencia, coste, facilidad de instalación y adaptabilidad. Su combinación con emisores mixtos y apoyo solar refuerza su viabilidad y la convierte en una pieza clave del modelo energético del futuro hotel boutique. En el capítulo de cálculos se dimensionará con precisión el sistema completo, evaluando rendimiento, necesidades térmicas y retorno económico.

³¹ Abid et al., 2021.

³² Ołtarzewska y Krawczyk, 2024.

7.2. Ventilación y calidad del aire

La renovación del aire interno y la regulación de la humedad son fundamentales en un hotel, tanto para el bienestar de los visitantes como para el mantenimiento de la estructura. Esto es especialmente importante en Menorca, donde la humedad relativa se mantiene alta durante gran parte del año, con valores que varían entre el 70 % y el 80 %. Este aumento de humedad puede empeorar los problemas de condensación, favorecer la aparición de mohos y crear un entorno incómodo para los huéspedes. Una ventilación apropiada ayuda a aumentar la calidad del aire interior, minimiza olores y microorganismos patógenos, y mejora el confort térmico sin afectar la eficiencia energética del sistema general.

La legislación actual en España, específicamente el Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HS3) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), determina caudales mínimos de ventilación de acuerdo con el uso y la ocupación del espacio. Respecto a las habitaciones de hotel, el CTE estipula un caudal mínimo de 12,5 litros por segundo por persona, valor que debe permanecer constante para asegurar un ambiente saludable. No obstante, en edificaciones históricas como la que tratamos, las opciones de ventilación natural no son adecuadas ni factibles, y a menudo están restringidas por factores patrimoniales. La ventilación mecánica controlada (VMC) se presenta como una opción razonable y efectiva. Un estudio enfocado en la rehabilitación energética de edificios históricos europeos de uso residencial, educativo y de museos demuestra que la ventilación mecánica controlada con recuperación de calor permite mantener niveles adecuados de CO₂ y humedad sin comprometer el balance energético ni alterar elementos patrimoniales protegidos.³³

La tecnología más adecuada para este escenario es la ventilación mecánica con recuperación entálpica (VMC-RE). Este tipo de sistemas no solo extraen el aire interior degradado y lo sustituyen por aire fresco del exterior, sino que recuperan tanto el calor como la humedad del aire saliente, optimizando así el consumo energético del edificio. Gracias a ello, permiten reducir las cargas térmicas de climatización hasta en un 30 % o 40 %, con eficiencias globales que alcanzan el 85 %. En climas húmedos, este tipo de recuperación entálpica es especialmente útil, ya que evita introducir humedad excesiva en verano y, al mismo tiempo, mitiga el secado excesivo en invierno. En casos donde no

³³ Rieser et al., 2021.

sea viable instalar una red de conductos compleja, se puede optar por soluciones descentralizadas por zonas, con pequeñas unidades individuales en habitaciones o zonas comunes. Estas alternativas permiten zonificar la ventilación y requieren una mínima intervención sobre los elementos protegidos.

Estudios recientes han analizado la recuperación de calor del aire extraído en sistemas de ventilación mecánica en combinación con bombas de calor aire-agua, similares a los propuestos en este proyecto. En concreto, en un estudio desarrollado por investigadores de la Universidad Tecnológica de Silesia (Polonia), demostraron que esta configuración permite reducir significativamente la carga térmica del sistema principal y mejorar la eficiencia global del conjunto, especialmente cuando se trabaja con temperaturas de impulsión moderadas³⁴, como las empleadas habitualmente en sistemas de aerotermia con emisores de baja temperatura.

En el contexto de este proyecto, se propone la instalación de una VMC de doble flujo con recuperación entálpica, con unidades sectorizadas por planta y conductos integrados en falsos techos en zonas comunes y pasillos. Esta configuración permite mantener el carácter original de los espacios interiores, reducir el impacto visual y facilitar labores de mantenimiento. Además, la ventilación mecánica operaría de forma sinérgica con el sistema de climatización por aerotermia y su red de emisores mixtos (suelo radiante y fancoils), ofreciendo un modelo energético eficiente, respetuoso con el entorno y perfectamente adaptado al uso hotelero de alto nivel que se plantea.

³⁴ Kowalski, Szałański, y Cepiński, 2021.

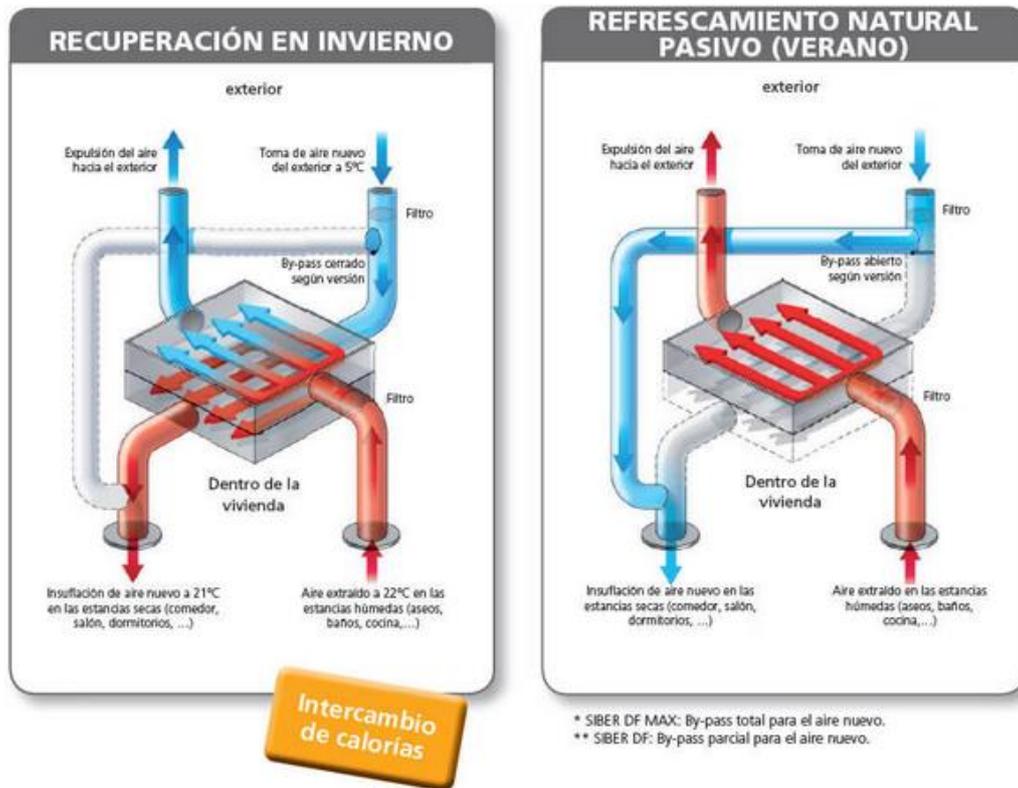


Ilustración 7. Funcionamiento estacional de un sistema de ventilación mecánica con recuperación entálpica (VMC-RE): recuperación de calor en invierno y refrescamiento pasivo en verano. Fuente: Siber, 2025.

7.3. Producción eléctrica renovable

En un contexto de creciente electrificación de los sistemas de calefacción (como la aerotermia), y de un incremento constante del precio de la energía, integrar la producción de energía renovable se convierte una técnica esencial para incrementar la eficiencia global del edificio, disminuir su huella de carbono y obtener autonomía energética. En este caso de estudio, la energía solar fotovoltaica se presenta como la alternativa más factible para una rehabilitación urbana en Menorca, debido a su avanzada tecnología y a la amplia disponibilidad de energía solar en la zona.

Menorca cuenta con un recurso solar medio anual de aproximadamente 1700-1800 kWh/m²/año³⁵, lo que la coloca entre las áreas con mayor capacidad solar de España. Este grado de irradiancia posibilita una producción eléctrica considerable incluso en superficies limitadas. En un estudio centrado en la integración de sistemas fotovoltaicos

³⁵ «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission».

en edificios patrimoniales de Italia y Suiza, demostraron que, con soluciones BIPV adaptadas al entorno, es posible alcanzar una reducción media del 30–40 % del consumo eléctrico anual, manteniendo al mismo tiempo la compatibilidad visual y normativa en zonas históricas protegidas.³⁶ Adicionalmente, a partir de 2019, la ley española autoriza el autoconsumo con compensación simplificada, lo que simplifica la evaluación de los excedentes energéticos y hace más atractiva la inversión³⁷.

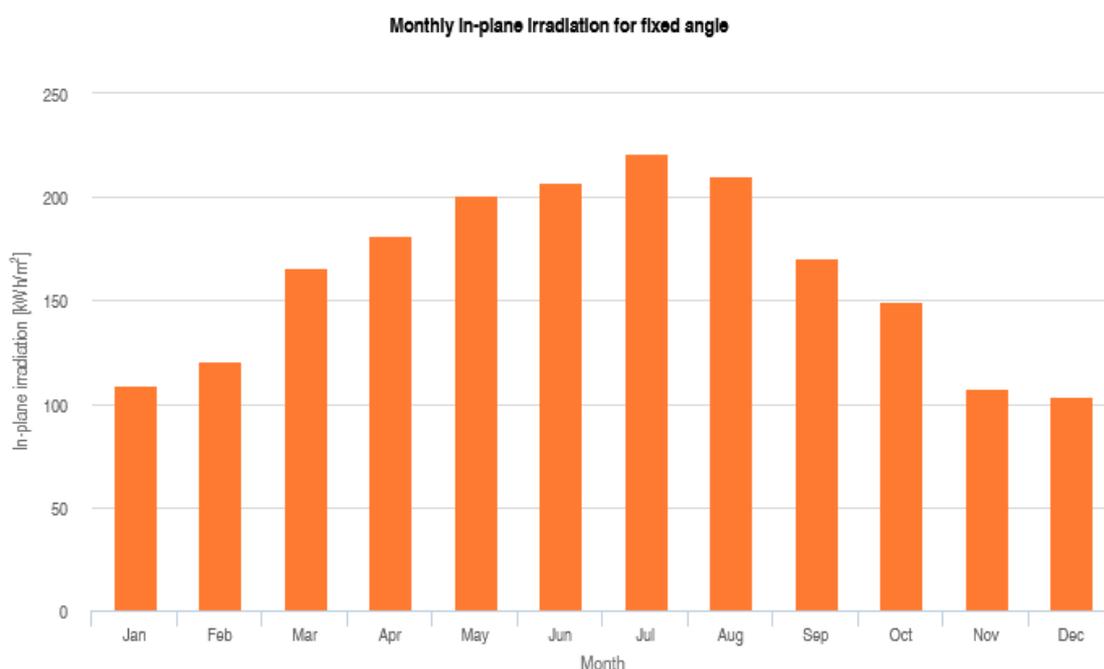


Ilustración 8. Distribución mensual de la irradiación solar global sobre superficie fija inclinada en Menorca. Fuente: European Union PVGIS, 2025.

En el caso del edificio objeto de este TFM, situado en el centro histórico de Mahón y con una cubierta plana disponible, la instalación de paneles solares convencionales representa una solución técnica, legal y económicamente viable. A pesar de estar en un entorno patrimonialmente protegido, la normativa local permite este tipo de intervenciones bajo ciertas condiciones. En concreto, la *Guía de criterios estéticos y técnicos para la implantación de energías renovables en entornos protegidos*, aprobada por el Consell

³⁶ Polo López, Troia, y Nocera, 2021.

³⁷ «BOE.es - DOUE-L-2024-80664 Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).»

Insular de Menorca en septiembre de 2022, establece que las instalaciones fotovoltaicas sobre azoteas planas son admisibles siempre que no sean visibles desde la vía pública y no alteren elementos constructivos originales. Esta regulación, junto con lo dispuesto en la Ley 12/2017 de Urbanismo de las Illes Balears, permite que este tipo de sistemas se tramite mediante comunicación previa, siempre que el edificio no esté catalogado como Bien de Interés Cultural ni se afecten elementos estructurales protegidos.

Por tanto, se optará por paneles solares estándar, montados sobre estructuras ligeras inclinadas, lo que ofrece un mayor rendimiento y una inversión más rentable respecto a otras alternativas como módulos integrados (BIPV).

El sistema fotovoltaico propuesto se dimensionará más adelante del proyecto, pero se prevé una instalación de entre 10 y 20 paneles, con inversor híbrido y posibilidad de incorporar baterías de almacenamiento en el futuro. Este sistema se conectará en autoconsumo con compensación de excedentes, contribuyendo a cubrir los consumos de climatización, ACS, ventilación y usos comunes del hotel. Además, su implantación se alinea con los objetivos de sostenibilidad del proyecto, al reducir la dependencia de energía primaria no renovable y mejorar la clasificación energética global del edificio.

Estudios recientes demuestran que en climas mediterráneos, la combinación de bombas de calor de alta eficiencia con sistemas fotovoltaicos puede cubrir la práctica totalidad de la demanda energética anual de un hotel, reduciendo drásticamente las emisiones operativas. En concreto, un estudio llevado a cabo por John Vourdoubas analiza varios escenarios de autosuficiencia energética en hoteles del área mediterránea, concluyendo que es técnicamente viable alcanzar un balance energético cero mediante la integración de aerotermia, solar térmica y sistemas fotovoltaicos, lo que permite reducir en más de un 70 % la demanda de energía primaria no renovable.³⁸ Asimismo, el autoconsumo fotovoltaico contribuye a estabilizar la red eléctrica local, reducir la demanda en horas punta y puede constituir un argumento comercial relevante para un hotel boutique orientado al turismo responsable.

Además, se contempla la posibilidad de integrar el sistema fotovoltaico con una solución de monitorización y gestión energética, que permita optimizar los consumos, gestionar los picos de demanda y visualizar la producción y consumo en tiempo real. Esta funcionalidad no solo mejora el control operativo y la eficiencia en la gestión energética

³⁸ Vourdoubas, 2018.

del edificio, sino que también refuerza la imagen de marca del hotel como establecimiento sostenible, diferencial y alineado con los criterios ESG que cada vez valoran más tanto clientes como inversores.

7.4. Envoltente térmica y medidas pasivas

La envoltente térmica de un edificio es el conjunto de elementos constructivos que separan el interior del exterior (muros, cubiertas, ventanas, suelos), y su comportamiento es determinante para la demanda energética global. En el caso de una rehabilitación, especialmente en un edificio histórico, la intervención sobre la envoltente debe equilibrar tres factores clave: mejora energética, respeto patrimonial y viabilidad técnica.

El edificio en cuestión, presenta un diseño típico de la arquitectura tradicional menorquina: muros de carga de mampostería con revoco de cal, forjados de madera o bóvedas de ladrillo, y cubiertas inclinadas con teja cerámica. Estas soluciones ofrecen cierta inercia térmica, pero presentan un escaso aislamiento térmico y varios puentes térmicos visibles; como en el encuentro de forjados con fachadas o en las carpinterías originales de madera.

Varios estudios han evidenciado que la rehabilitación de la envoltente puede reducir entre un 30 y un 60 % la demanda energética del edificio, especialmente si se combina con estrategias pasivas. Por ejemplo, un estudio analizó el impacto del uso de aislamiento capilarmente activo en la rehabilitación de un edificio de mampostería tradicional en Lovaina (Bélgica). A través de simulaciones dinámicas, el estudio demostró que este aislamiento no solo reduce significativamente la demanda energética en climas húmedos templados, sino que también mantiene condiciones higrotérmicas estables, evitando condensaciones y promoviendo el confort interior sin comprometer la integridad del edificio histórico³⁹.

Entre los materiales considerados destacan los paneles de silicato cálcico, por su compatibilidad con muros históricos, así como aislamientos ecológicos de bajo impacto como el corcho o las fibras vegetales. En cuanto a estos, un estudio comparó cinco materiales naturales incluidos el corcho y la celulosa teniendo en cuenta criterios térmicos, ambientales, higrométricos y de ciclo de vida. Los resultados fueron que los

³⁹ Dang et al., 2025.

sistemas basados en fibras vegetales mostraron un impacto medioambiental inicial hasta un 60 % inferior al de los materiales minerales, manteniendo un comportamiento térmico adecuado⁴⁰. En zonas con limitaciones de espacio, se estudiará el uso de aislamientos de alta eficiencia como los paneles de cal o los aerogeles, capaces de mejorar notablemente el rendimiento térmico sin alterar los elementos originales.

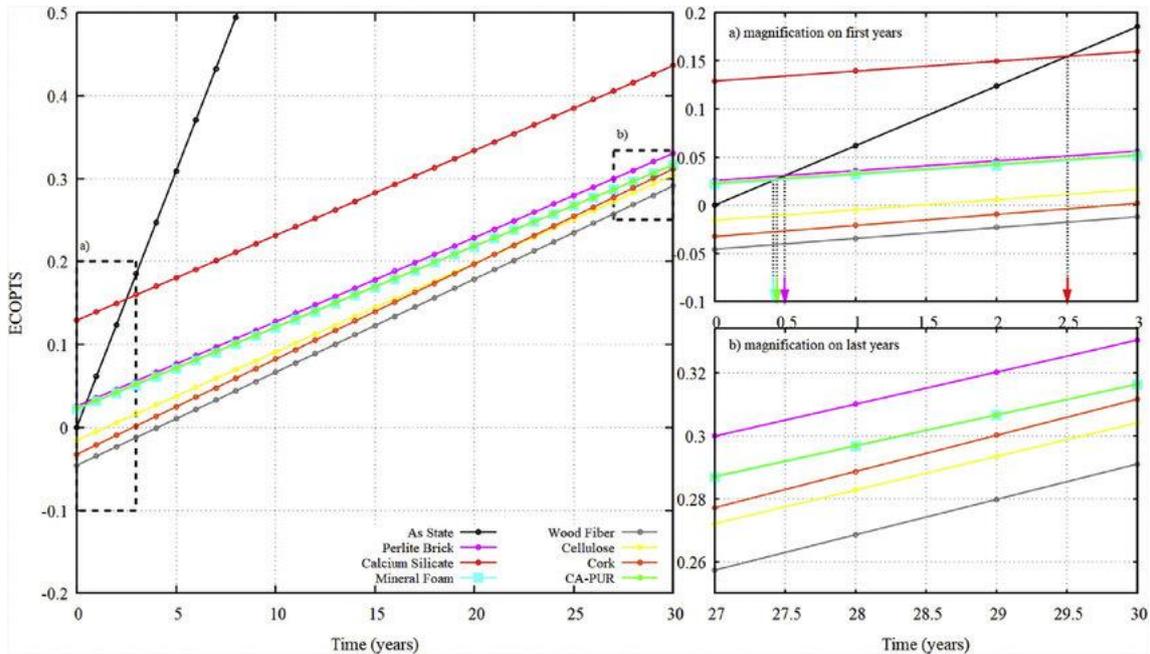


Ilustración 9. Impacto ambiental de los sistemas de aislamiento durante 30 años de vida útil (gráfico izquierdo). Vista detallada del primer y último año (gráfico derecho). Fuente: Bottino-Leone et al., 2019.

Como podemos observar en la Ilustración 9, todos los sistemas de aislamiento interior analizados en el estudio contribuyen a una notable reducción del impacto ambiental acumulado en un horizonte de 30 años, con un Environmental Payback Period inferior a tres años en todos los casos. El estudio demuestra que, tras 30 años, todas las soluciones de aislamiento reducen el impacto ambiental en más de un 75%, lo que pone claramente la eficacia de este tipo de intervenciones en la mejora del parque edificado existente.

Para cubiertas inclinadas, se contempla el aislamiento por el interior o entre tabiques existentes, preservando la teja tradicional, y en suelos, la posibilidad de instalar una solera térmica ligera compatible con suelo radiante, minimizando intervenciones estructurales.

⁴⁰ Bottino-Leone et al., 2019.

En cuanto a carpinterías, se planea sustituir las ventanas por modelos con rotura de puente térmico y doble vidrio bajo emisivo, replicando la estética original y complementándolas con sellados discretos para reducir infiltraciones.

Las medidas pasivas previstas en el proyecto tienen como objetivo optimizar el comportamiento térmico del edificio sin comprometer su valor patrimonial. Entre ellas se incluyen el control solar mediante elementos tradicionales como persianas mallorquinas, la ventilación cruzada natural facilitada por la distribución original del edificio, y el aprovechamiento de la inercia térmica de los muros interiores mediante acabados continuos como revocos de cal o yeso.

En conjunto, estas actuaciones buscan mejorar el confort higrotérmico y reducir la demanda de climatización activa. Su efecto se tendrá en cuenta en los cálculos y estimaciones energéticas que se desarrollarán en los siguientes capítulos, con el fin de evaluar su contribución al rendimiento global del edificio rehabilitado.

El análisis realizado en este capítulo permite identificar un conjunto de soluciones energéticas adaptadas a las particularidades climáticas, normativas y patrimoniales del centro histórico de Mahón. La selección de la aerotermia como sistema principal de climatización y ACS, combinada con emisores mixtos y apoyo fotovoltaico, garantiza un equilibrio entre eficiencia, coste y respeto al valor histórico del edificio. A su vez, la incorporación de ventilación mecánica con recuperación entálpica y de medidas pasivas sobre la envolvente ofrece un modelo integral que refuerza la sostenibilidad y el confort interior. Estas decisiones sientan las bases para el dimensionamiento técnico y la evaluación económica que se desarrollarán en los capítulos posteriores, consolidando una propuesta coherente con los objetivos globales del trabajo.

8. Diseño del sistema de climatización y ACS del edificio

El dimensionamiento de las instalaciones de climatización y ACS en un hotel requiere partir de una estimación precisa de las cargas térmicas de diseño. Estas cargas representan la potencia necesaria para mantener las condiciones de confort interior definidas, compensando las pérdidas o ganancias de calor a través de la envolvente, la introducción de aire exterior y la presencia de personas, iluminación y equipos.

En este estudio, se han calculado las cargas de invierno (modo calefacción, solo componente sensible) y las cargas de verano (modo refrigeración, con componentes sensible y latente), siguiendo la metodología recomendada en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), las normas UNE-EN 16798-1 y las directrices del manual ASHRAE Fundamentals (2021).

Las condiciones exteriores de cálculo se han tomado de los datos climáticos de AEMET para Menorca, y las condiciones interiores de diseño responden a los criterios de confort del RITE para uso hotelero.

En el cálculo de cargas térmicas se consideran condiciones exteriores extremas según la normativa: para calefacción se adopta la temperatura seca correspondiente al percentil 99% (TS 99%) y para refrigeración la temperatura seca del percentil 1% (TS 1%), conforme al RITE (IT 1.2.4.1.2). Estos valores se extraen de estadísticas de AEMET y garantizan que la instalación funcione incluso en los periodos de mayor exigencia térmica.

| Estación | T_{ext} °C | HR_{ext} (%) | T_{int} (°C) | HR_{int} (%) |
|----------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Invierno | 4,4 | 78,6 | 22 | 40 |
| Verano | 30,2 | 65 | 25 | 50 |

Tabla 1. Condiciones de diseño para cálculo de cargas térmicas en Mahón. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el fin de contextualizar el cálculo de cargas térmicas, la Tabla 2 presenta la distribución del hotel por plantas, detallando la superficie útil de cada estancia, la ocupación máxima prevista y la densidad de ocupación (m^2 por persona). Esta información es fundamental para estimar tanto las ganancias internas debidas a la presencia de personas como las tasas de ventilación exigidas por el RITE y la UNE-EN 16798-1, que dependen directamente del número de ocupantes y del uso de cada espacio.

| Planta | Estancia | Superficie (m ²) | Personas (max) | Ocupación (m ² /pers) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Sótano | Sala de juegos | 35 | 10 | 3.5 |
| | Bodega | 15 | 5 | 3.0 |
| | Sala de máquinas / Trastero | 21 | 2 | 10.5 |
| Baja | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| | Habitación doble | 16 | 2 | 8.0 |
| | Recepción | 8.5 | 5 | 1.7 |
| | Comedor | 18 | 14 | 1.3 |
| | Cocina | 15 | 4 | 3.8 |
| | Aseo | 5.5 | 1 | 5.5 |
| Primera | Habitación doble | 19 | 2 | 9.5 |
| | Habitación doble | 19 | 2 | 9.5 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| Segunda | Habitación doble | 19 | 2 | 9.5 |
| | Habitación doble | 19 | 2 | 9.5 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| | Suite | 23 | 3 | 7.7 |
| Tercera | Habitación doble | 20 | 2 | 10.0 |
| | Habitación doble | 20 | 2 | 10.0 |
| | Suite presidencial | 31 | 3 | 10.3 |

Tabla 2. Distribución de estancias, superficies y ocupación máxima del hotel. Fuente: Elaboración propia, 2025.

8.1. Cargas por transmisión

Las cargas térmicas por transmisión representan la energía necesaria para compensar las pérdidas o ganancias de calor a través de los elementos constructivos que delimitan el volumen climatizado del edificio: muros, cubiertas, suelos, huecos acristalados y puertas exteriores. Este fenómeno se produce debido a la diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior, y su magnitud depende de la superficie de cada elemento, de su transmitancia térmica (U) y de dicho salto térmico (ΔT).

La transmisión térmica a través de los cerramientos se calcula mediante la expresión:

$$Q_{tr} = U * S * \Delta T \quad [1]$$

Donde:

- U es la transmitancia térmica del elemento [$W/m^2 \cdot K$], obtenida de tablas de valores normativos
- S es la superficie del elemento [m^2], medida a partir de planos (Anexo III)
- ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior [K], distinta para invierno y verano.

En el análisis constructivo del edificio se han diferenciado varios tipos de cerramientos en función de su situación y de las condiciones térmicas a las que se encuentran expuestos. Se incluyen, en primer lugar, los muros exteriores, en contacto directo con el aire exterior, y las cubiertas, cuya cara superior también se expone al ambiente exterior. Asimismo, se contemplan los suelos sobre espacios no climatizados, que limitan con sótanos o con el terreno, y los huecos acristalados y puertas exteriores, que constituyen puntos de intercambio directo con el exterior. Por último, se consideran las particiones interiores con diferencia de temperatura distinta de cero ($\Delta T \neq 0$), las cuales separan los espacios climatizados de aquellos que no lo están.

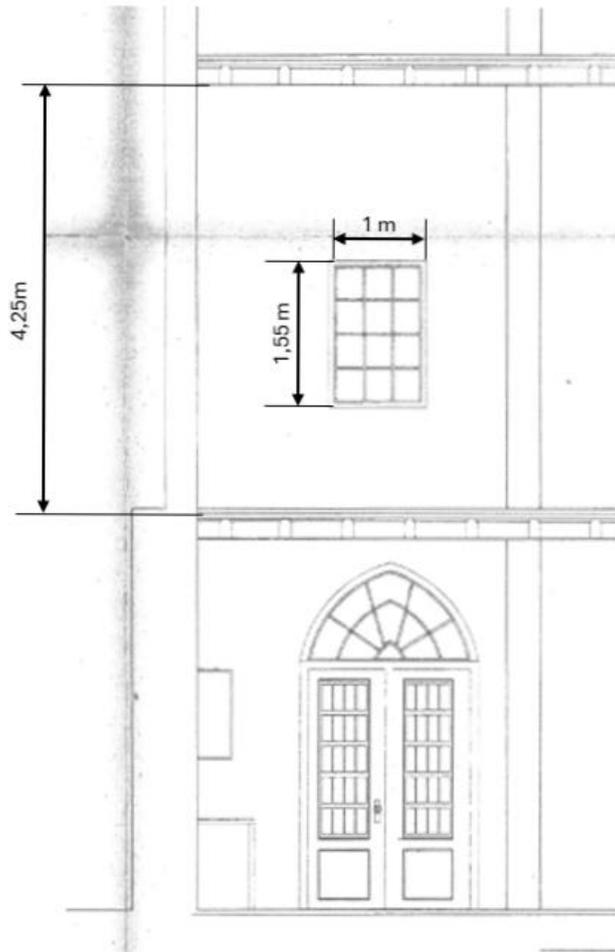


Ilustración 10. Vista parcial de fachada con ventana y superficie acristalada. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la figura se observa una de las fachadas del edificio, donde la ventana presenta una superficie de 1,55 m². El área acristalada es un aspecto clave, ya que influye directamente en las pérdidas térmicas en invierno y en las ganancias solares en verano, condicionando así la demanda de climatización. Los planos detallados y el desglose completo de superficies de huecos por fachada se incluyen en el Anexo III.

En lo referente a la diferencia de temperatura (ΔT), en invierno se define como la variación entre la temperatura interior de diseño (T_{int}) y la temperatura exterior mínima de diseño. En verano, en cambio, ΔT corresponde a la diferencia entre la temperatura exterior máxima de diseño y la temperatura interior fijada.

| Estancia | S*K*ΔT (W) Verano | S*K*ΔT (W) Invierno |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|
| Sala de juegos | 0.0 | 428.8 |
| Bodega | 0.0 | 175.2 |
| Sala de máquinas / Trastero | 0.0 | 269.1 |
| TOTAL P -1 | 0.0 | 873.1 |
| Suite 001 | 167.8 | 431.4 |
| Habitación doble 002 | 182.4 | 469.0 |
| Recepción | 0.0 | 0.0 |
| Comedor | 140.0 | 360.1 |
| Cocina | 166.9 | 429.2 |
| Aseo | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL P 0 | 657.1 | 1689.8 |
| Habitación doble 003 | 145.5 | 374.2 |
| Habitación doble 004 | 145.5 | 374.2 |
| Suite 005 | 162.2 | 417.1 |
| Suite 006 | 152.4 | 391.9 |
| Suite 007 | 186.2 | 478.8 |
| TOTAL P 1 | 791.9 | 2036.4 |
| Habitación doble 008 | 145.5 | 374.2 |
| Habitación doble 009 | 145.5 | 374.2 |
| Suite 010 | 162.2 | 417.1 |
| Suite 011 | 152.4 | 391.9 |
| Suite 012 | 186.2 | 478.8 |
| TOTAL P 2 | 791.9 | 2036.4 |
| Suite 013 | 826.5 | 1413.6 |
| Habitación doble 014 | 704.1 | 1219.4 |
| Suite presidencial 015 | 1184.4 | 2097.6 |
| TOTAL P 3 | 2715.0 | 4730.7 |
| TOTAL | 4955.9 W | 11366.3 W |

Tabla 3. Resumen del cálculo de cargas por transmisión. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la Tabla 3 podemos observar un resumen de las cargas por transmisión de todas las estancias del hotel tanto en invierno como en verano. El cálculo completo de las cargas se encuentra en el Anexo I.

8.2. Cargas por ventilación

La renovación de aire en los espacios interiores es un requisito fundamental para garantizar la calidad del aire y el confort de los ocupantes. En el caso de un hotel, esta necesidad se traduce en la introducción de un caudal controlado de aire exterior, el cual debe cumplir con los criterios de salubridad establecidos por la normativa vigente. Sin embargo, esta aportación de aire fresco conlleva un efecto térmico que supone una carga térmica adicional que el sistema de climatización debe compensar, tanto en régimen de calefacción como, especialmente, en refrigeración.

El Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) cita textualmente:

IT 1.1.4.2.2 Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios

En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

| Categoría | dm ³ /s por persona |
|-----------|--------------------------------|
| IDA 1 | 20 |
| IDA 2 | 12.5 |
| IDA 3 | 8 |
| IDA 4 | 5 |

Tabla 4. Caudales de exterior en dm³/s por persona. (Tabla 1.4.2.1 del RITE). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para este estudio, se ha considerado la tasa mínima de ventilación indicada por la norma UNE-EN 16798-1 y por el RITE para el nivel de calidad de aire interior IDA-3, correspondiente a hoteles, fijada en 8 L/s por persona. Este valor garantiza un adecuado nivel de oxígeno y dilución de contaminantes interiores, pero también implica que una fracción significativa de la potencia térmica instalada se destine exclusivamente a acondicionar dicho aire exterior.

El cálculo de la carga de ventilación se ha realizado separando sus dos componentes principales:

Carga sensible, asociada a la variación de temperatura entre el aire exterior y el aire interior de diseño, calculada como:

$$Q_{vent,s} = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad [2]$$

Donde $\dot{m} = \rho * \dot{V}$ con $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ y $c_p = 1005 \text{ J/(kg*K)}$

Y carga latente, derivada de la energía necesaria para eliminar el exceso de humedad del aire exterior hasta alcanzar las condiciones interiores:

$$Q_{vent,l} = \dot{m} * \Delta W * h_{fg} \quad [3]$$

Donde ΔW es la diferencia de razón de humedad entre el aire exterior e interior, obtenida del diagrama psicrométrico para las condiciones de diseño, y $h_{fg} = 2,45 \times 10^6 \text{ J/kg}$ es el calor latente de vaporización del agua.

En verano, la carga latente adquiere un peso significativo, ya que, además de reducir la temperatura del aire exterior (carga sensible), es necesario eliminar parte de la humedad que contiene para mantener unos niveles de humedad relativa adecuados en el interior. En invierno, por el contrario, el aire exterior suele presentar una humedad más baja y, en muchos casos, requiere incluso ser humidificado, por lo que la carga asociada se analiza de forma independiente o bien resulta poco relevante frente a la sensible.

Por todo ello, las cargas derivadas de la ventilación son un elemento clave en el dimensionamiento y en la eficiencia de los sistemas de climatización, especialmente en zonas con climas cálidos y húmedos, donde el acondicionamiento del aire exterior demanda un aporte energético notable tanto para enfriarlo como para reducir su contenido de humedad.

Si representamos en el diagrama psicrométrico las condiciones exteriores e interiores de diseño, la diferencia de razón de humedad (ΔW) obtiene de forma gráfica midiendo la separación entre ambos puntos sobre el eje vertical de humedad específica. En el caso de Menorca en verano, esta diferencia resulta aproximadamente de 0,005 kg de vapor de agua por kg de aire seco.

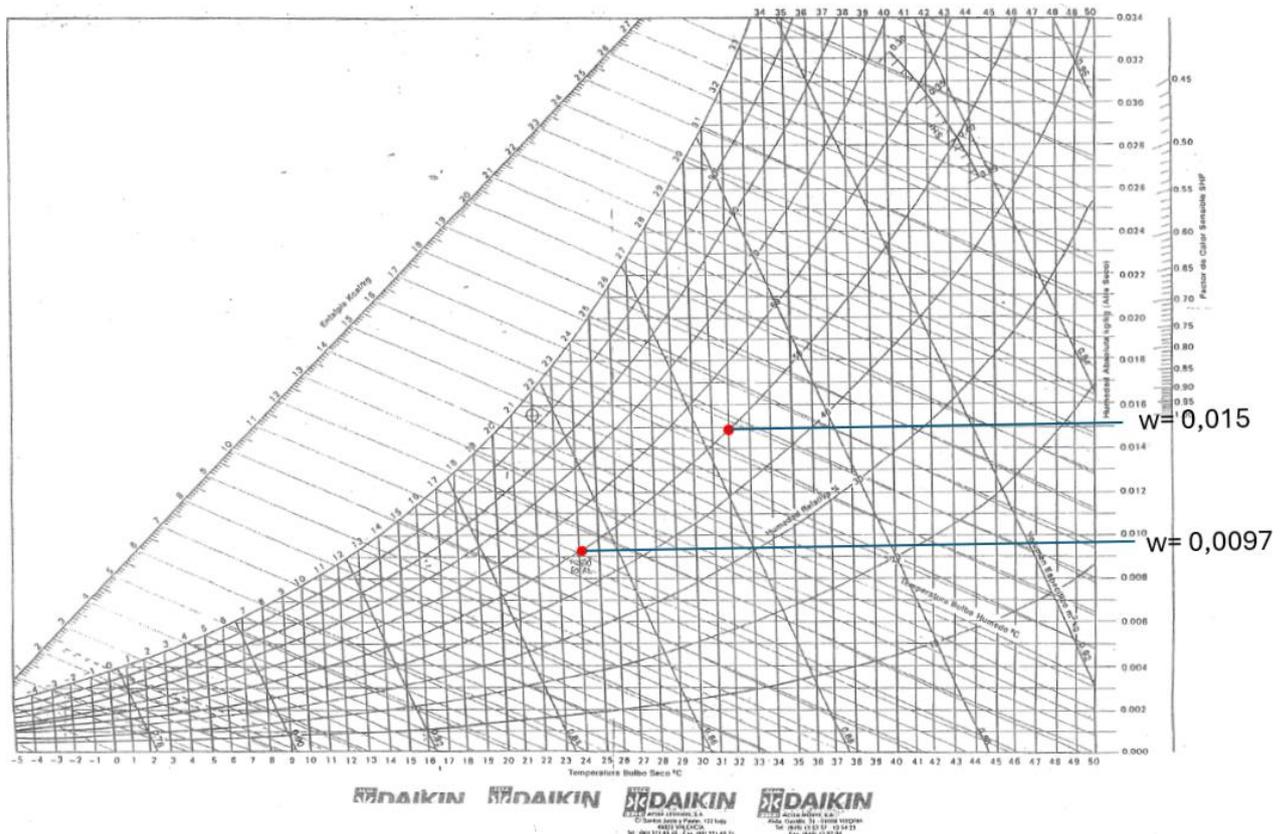


Ilustración 11. Cálculo de los puntos críticos sobre el diagrama Daikin. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tomando un $\Delta T = 18K$ ($22^{\circ}C-4^{\circ}C$) en invierno y un $\Delta T = 7K$ ($31^{\circ}C-25^{\circ}C$) en verano obtenemos la siguiente tabla:

| Planta | Estancia | Superficie (m ²) | Personas (max) | Qsens,inv (W) | Qsens,ver (W) | Qlat,ver (W) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|
| Sótano | Sala de juegos | 35 | 10 | 2713.5 | 1055.3 | 1845.0 |
| | Bodega | 15 | 5 | 1356.75 | 527.6 | 922.5 |
| | Sala de máquinas / Trastero | 21 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| Baja | Habitación doble | 15 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Recepción | 8.5 | 5 | 1356.75 | 527.6 | 922.5 |
| | Comedor | 18 | 14 | 3798.9 | 1477.4 | 2583.0 |
| | Cocina | 15 | 4 | 1085.4 | 422.1 | 738.0 |
| | Aseo | 5.5 | 1 | 271.35 | 105.5 | 184.5 |
| Primera | Habitación doble | 19 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Habitación doble | 19 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| Segunda | Habitación doble | 19 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |

| | | | | | | |
|----------------|--------------------|----|---|----------------|-------------------|----------------|
| Tercera | Habitación doble | 19 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| | Suite | 23 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| | Habitación doble | 20 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Suite | 24 | 2 | 542.7 | 211.1 | 369.0 |
| | Suite presidencial | 31 | 3 | 814.05 | 316.6 | 553.5 |
| | | | | 21436.7 | 8336.5 | 14575.5 |
| | | | | Qinv | 21436.7 W | |
| | | | | Qver | 22911.97 W | |

Tabla 5. Cargas térmicas por ventilación. Fuente: Elaboración propia, 2025.

8.3. Ganancias internas

Las ganancias internas consideradas en el cálculo proceden fundamentalmente de tres fuentes: la ocupación, la iluminación y los equipos presentes en cada estancia. Para la ocupación, se han adoptado valores de emisión térmica recomendados por UNE-EN 16798-1 y ASHRAE Fundamentals (2021) para actividad sedentaria ligera, habituales en entornos hoteleros: aproximadamente 65W por persona en carga sensible y 35W por persona en carga latente.

| Actividad metabólica | | sensible | latente | |
|---|--|----------|---------|------|
| ACTIVIDAD | | W | W | met |
| durmiendo | | 50 | 25 | 0,76 |
| tumbado | | 55 | 30 | 0,86 |
| sentado, sin trabajar | | 65 | 35 | 1,0 |
| de pie, relajado | | 75 | 55 | 1,3 |
| paseando | | 75 | 70 | 1,5 |
| andando | | | | |
| a 1,6 km/h | | 50 | 110 | 1,6 |
| a 3,2 km/h | | 80 | 130 | 2,1 |
| a 4,8 km/h | | 110 | 180 | 2,9 |
| a 6,4 km/h | | 150 | 270 | 4,2 |
| bailando moderadamente | | 90 | 160 | 2,5 |
| atlética en gimnasio (hombres) | | 210 | 315 | 5,0 |
| deporte de equipo masculino (valor medio) | | 290 | 430 | 6,9 |
| trabajos: | | | | |
| muy ligero, sentado | | 70 | 45 | 1,2 |
| moderado (en oficinas; valor medio) | | 75 | 55 | 1,3 |
| sedentario (restaurante, incluidas comidas) | | 80 | 80 | - |
| ligera de pie (industria ligera, de compras etc.) | | 70 | 90 | 1,6 |
| media de pie (trabajos domésticos, tiendas etc.) | | 80 | 120 | 2,0 |
| manual | | 80 | 140 | 2,1 |
| ligero (en fábrica; sólo hombres) | | 110 | 185 | 2,8 |
| pesado (en fábrica; sólo hombres) | | 170 | 255 | 4,0 |
| muy pesado (en fábrica; sólo hombres) | | 185 | 285 | 4,5 |

Tabla 6. Valores de actividad metabólica, calor sensible y calor latente según tipo de actividad. Fuente: UNE-EN ISO 8996, 2021.

En cuanto a la iluminación, se ha considerado la potencia de diseño típica para uso hotelero con tecnología LED eficiente, en torno a 8–10 W/m² según recomendaciones de DB-HE y ASHRAE 90.1.

Por último, los equipos incluyen elementos como televisores (50–100 W), minibar (60–120 W), cargadores y pequeños electrodomésticos, que en conjunto aportan entre 150 y 200 W adicionales de carga sensible en una habitación estándar. En zonas comunes, estos valores varían en función del uso: por ejemplo, en recepción se han estimado unos 10–15 W/m² de carga sensible procedente de ordenadores y periféricos, mientras que en cocinas profesionales la carga interna puede alcanzar 50–70 W/m², con una proporción latente significativa debido a la evaporación de los procesos de cocción.

Con estos valores elaboramos la siguiente tabla, con los resultados de las ganancias internas:

| Planta | Estancia | Superficie (m2) | Personas (max) | Qp,sens (W) | Qp,lat (W) | Qilum (W) | Qequip (W) | Qint,tot (W) |
|----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|-----------|------------|---------------|
| Sótano | Sala de juegos | 35 | 10 | 650 | 350 | 175 | 300 | 1475 |
| | Bodega | 15 | 5 | 325 | 175 | 75 | 0 | 575 |
| | Sala de máquinas / Trastero | 21 | 2 | 130 | 70 | 105 | 0 | 305 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Habitación doble | 15 | 2 | 130 | 70 | 75 | 180 | 455 |
| Baja | Recepción | 8.5 | 5 | 325 | 175 | 42.5 | 500 | 1042.5 |
| | Comedor | 18 | 14 | 910 | 490 | 90 | 100 | 1590 |
| | Cocina | 15 | 4 | 260 | 140 | 75 | 500 | 975 |
| | Aseo | 5.5 | 1 | 65 | 35 | 27.5 | 0 | 127.5 |
| | Habitación doble | 19 | 2 | 130 | 70 | 95 | 180 | 475 |
| Primera | Habitación doble | 19 | 2 | 130 | 70 | 95 | 180 | 475 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Habitación doble | 19 | 2 | 130 | 70 | 95 | 180 | 475 |
| Segunda | Habitación doble | 19 | 2 | 130 | 70 | 95 | 180 | 475 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Suite | 23 | 3 | 195 | 105 | 115 | 180 | 595 |
| | Habitación doble | 20 | 2 | 130 | 70 | 100 | 180 | 480 |
| Tercera | Suite | 24 | 2 | 130 | 70 | 120 | 180 | 500 |
| | Suite presidencial | 31 | 3 | 195 | 105 | 155 | 180 | 635 |
| | | | | | | | | 14225W |

Tabla 7. Ganancias Internas. Fuente: Elaboración propia, 2025

8.4. Síntesis de cargas y base para el dimensionado

En este apartado se integran los resultados obtenidos en los cálculos parciales (transmisión, ventilación y ganancias internas) para cada periodo estacional considerado. La carga térmica total en invierno y en verano se obtiene sumando las contribuciones sensibles y, cuando procede, las latentes. El cálculo se realiza para cada estancia o zona y posteriormente se agregan los valores por planta hasta alcanzar el total del edificio. Estos valores globales representan la demanda máxima instantánea que deberá ser cubierta por los sistemas de climatización, constituyendo así la referencia de partida para el dimensionado preliminar de los equipos y la configuración general de la instalación.

| Estación | Transmisión (W) | Ventilación (W) | Ganancias internas (W) | Q _{total} (W) |
|----------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| Verano | 4955,9 | 22911,97 | 14225 | 42122,9 |
| Invierno | 11366,3 | 19054,8 | 14225 | 23712,1 |

Tabla 8. Resumen del cálculo de cargas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el balance térmico, las ganancias internas procedentes de la ocupación, la iluminación y los equipos actúan de forma opuesta según la estación. En verano, todo el calor generado en el interior se suma al resto de cargas, ya que el sistema de climatización debe evacuarlo para mantener las condiciones de confort. En invierno, por el contrario, estas ganancias contribuyen a cubrir parte de las pérdidas térmicas del edificio, por lo que se resta la ganancia sensible de la demanda total de calefacción al representar un aporte de calor.

En un edificio histórico como el analizado es razonable considerar infiltración de aire no controlada incluso después de sellados y burletes. Siguiendo guías de referencia para edificios existentes⁴¹, se ha considerado una tasa de 0,3 renovaciones por hora (ACH) como hipótesis base. Para las condiciones de diseño de invierno en Mahón, esta infiltración supone un incremento de aproximadamente 3,5 kW en la carga de calefacción. Al incorporar este término y teniendo en cuenta que en calefacción solo se descuenta la ganancia interna sensible, la carga punta de invierno del edificio se sitúa en torno a 23,7 kW, aportando un margen de seguridad frente a episodios más fríos y a la mayor sensación de frío asociada a la humedad.

⁴¹ Henderson y Harley, 2022.

8.5. Interpretación de resultados

El análisis de cargas térmicas realizado para el hotel permite observar diferencias significativas entre las demandas en periodo de verano y en periodo invernal.

En verano, la carga total asciende a 42,12 kW, valor que resulta de la suma de las cargas por transmisión (4,96 kW), la ventilación (22,91 kW) y las ganancias internas (14,23 kW). Destaca que la ventilación representa el componente más relevante, aportando aproximadamente el 54 % de la carga total. Este resultado se debe al caudal de aire exterior establecido para la categoría IDA-3 del RITE en uso hotelero (8 L/s*persona), que en condiciones de verano implica no solo enfriar el aire exterior (carga sensible) sino también deshumidificarlo (carga latente). Las ganancias internas, derivadas de la ocupación, la iluminación y los equipos, constituyen el segundo bloque en importancia, seguidas por las cargas de transmisión a través de la envolvente. En conjunto, todos estos términos se suman, ya que en verano cualquier aporte de calor incrementa la demanda de refrigeración.

En invierno, la carga total es de 15,03 kW, resultado de sumar las pérdidas por transmisión (10,20 kW) y ventilación (19,05 kW) y restar las ganancias internas (14,23 kW), que en esta estación contribuyen a reducir la demanda de calefacción. La ventilación sigue siendo el factor predominante en el balance, representando cerca del 63 % de las pérdidas brutas. Sin embargo, el efecto compensatorio de las ganancias internas y, en menor medida, de la radiación solar incidente, reduce significativamente la demanda neta respecto al valor que se obtendría sin estos aportes.

La comparación entre ambas estaciones muestra que la carga de refrigeración en verano es aproximadamente 2,8 veces mayor que la carga de calefacción en invierno. Esta diferencia se explica, principalmente, por la combinación de elevados aportes de calor interno y la necesidad de tratar un caudal considerable de aire exterior en condiciones cálido-húmedas, frente a unas condiciones invernales más suaves, donde las ganancias internas actúan como fuente de calor gratuita que reduce la potencia necesaria.

En definitiva, el análisis confirma que la ventilación es el principal componente de la demanda energética del hotel, tanto en verano como en invierno, debido al caudal de aire exterior exigido por la normativa y a las condiciones climáticas de Menorca. La elevada contribución de este factor sugiere que, en fases posteriores de diseño, podría ser interesante evaluar soluciones que reduzcan su impacto, como la recuperación de calor o

la optimización de caudales, con el fin de mejorar la eficiencia global del sistema de climatización.

8.6. Dimensionado del sistema de ACS

El diseño de un sistema de producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un edificio hotelero no puede limitarse únicamente a la cobertura de la demanda media, sino que debe garantizar un suministro seguro, higiénico y continuo incluso en los momentos de mayor consumo simultáneo. Para ello, resulta fundamental estimar con precisión tanto la demanda diaria total como los períodos punta de consumo, de modo que la instalación pueda dimensionarse correctamente sin incurrir en sobredimensionados costosos ni en deficiencias de confort. La metodología de cálculo se apoya en las directrices del CTE DB-HE4 y en referencias complementarias como la UNE 94002:2005, que ofrecen valores orientativos según el uso del edificio. A partir de estos marcos normativos se establecen los parámetros de diseño específicos para el hotel objeto de estudio.

La demanda total diaria de agua caliente sanitaria se calcula como:

$$Q_D(60^\circ C) = \sum_{i=1}^n N_i * C_i \quad [4]$$

Donde N es el número de personas y C el consumo diario por persona. De la sección HE 4 del CTE DB-HE obtenemos la demanda orientativa para usos distintos del residencial a una temperatura de referencia de 60°C, considerados en la norma UNE 94002:2005.

| Criterio de demanda | Litros/día·persona |
|-------------------------------|---------------------------|
| Hospitales y clínicas | 55 |
| Ambulatorio y centro de salud | 41 |
| Hotel ***** | 69 |
| Hotel **** | 55 |
| Hotel *** | 41 |
| Hotel/hostal ** | 34 |
| Camping | 21 |
| Hostal/pensión * | 28 |
| Residencia | 41 |
| Centro penitenciario | 28 |
| Albergue | 24 |
| Vestuarios/Duchas colectivas | 21 |
| Escuela sin ducha | 4 |
| Escuela con ducha | 21 |
| Cuarteles | 28 |
| Fábricas y talleres | 21 |
| Oficinas | 2 |
| Gimnasios | 21 |
| Restaurantes | 8 |
| Cafeterías | 1 |

Tabla 9. Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado. Fuente: CTE DB HE4, 2019.

De la tabla obtenemos que el valor para hoteles de 5 estrellas es de 69 L/día*persona. Por lo tanto, el consumo diario de nuestro hotel de 15 habitaciones dobles será aproximadamente de 2070 L/día.

Demanda en periodo punta

La estimación de la demanda en periodo punta es esencial para dimensionar adecuadamente la instalación de ACS, ya que representa el volumen de agua caliente necesario en los momentos de mayor consumo simultáneo. Este valor se obtiene aplicando un coeficiente o fracción sobre la demanda diaria total, el cual depende del perfil de uso del edificio y de los hábitos de sus ocupantes.

Para el cálculo del periodo punta se ha adoptado un coeficiente $f_{punta}=0,4$ sobre la demanda diaria, considerando un intervalo de 2 horas. Este valor se fundamenta en perfiles de consumo característicos de hoteles vacacionales, donde la distribución de uso muestra dos picos diarios con un 40 % de la demanda en cada uno, según datos recogidos

en guías técnicas del sector y publicaciones especializadas⁴². Esta hipótesis permite dimensionar la instalación para cubrir las horas de mayor coincidencia de consumo, garantizando caudal y temperatura adecuados sin sobredimensionar innecesariamente el sistema.

Por lo tanto, el caudal en periodo de máxima demanda será de $0,4 \cdot 2070 = 828L$.

Caudal instantáneo

Para dimensionar correctamente las instalaciones de suministro de agua en un edificio, es fundamental conocer el caudal instantáneo mínimo que requiere cada aparato. Estos valores permiten garantizar que todos los equipos funcionen de forma adecuada, evitando problemas de presión o caudal insuficiente, y optimizando a la vez el diseño de la red. En la tabla siguiente se recogen los caudales mínimos para agua fría y agua caliente sanitaria (ACS) establecidos en la tabla 2.1 de la sección HS 4 «Suministro de agua» del Documento Básico HS «Salubridad» del Código Técnico de la Edificación.

| Tipo de aparato | Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s] | Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s] |
|--|--|--|
| Lavamanos | 0,05 | 0,03 |
| Lavabo | 0,10 | 0,065 |
| Ducha | 0,20 | 0,10 |
| Bañera de 1,40 m o más | 0,30 | 0,20 |
| Bañera de menos de 1,40 m | 0,20 | 0,15 |
| Bidé | 0,10 | 0,065 |
| Inodoro con cisterna | 0,10 | - |
| Inodoro con fluxor | 1,25 | - |
| Urinarios con grifo temporizado | 0,15 | - |
| Urinarios con cisterna (c/u) | 0,04 | - |
| Fregadero doméstico | 0,20 | 0,10 |
| Fregadero no doméstico | 0,30 | 0,20 |
| Lavavajillas doméstico | 0,15 | 0,10 |
| Lavavajillas industrial (20 servicios) | 0,25 | 0,20 |
| Lavadero | 0,20 | 0,10 |
| Lavadora doméstica | 0,20 | 0,15 |
| Lavadora industrial (8 kg) | 0,60 | 0,40 |
| Grifo aislado | 0,15 | 0,10 |
| Grifo garaje | 0,20 | - |
| Vertedero | 0,20 | - |

Tabla 10. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato. Fuente: Tabla 2.1 Sección HS4 del CTE, 2019

Con los valores normativos de la tabla anterior, se han calculado los caudales instantáneos mínimos de ACS para los aparatos previstos en el proyecto. En la siguiente tabla se recoge el número de unidades de cada tipo, su caudal unitario y el caudal total resultante.

⁴² CALORYFRIO, 2020.

| Aparato | Número | Caudal instantáneo mínimo de ACS | Caudal total |
|-------------------------|--------|----------------------------------|-----------------|
| Lavamanos | 1 | 0.03 | 0.03 |
| Lavabo | 15 | 0.065 | 0.975 |
| Ducha | 6 | 0.1 | 0.6 |
| Bañera de 1,40m o más | 9 | 0.2 | 1.8 |
| Fregadero no doméstico | 2 | 0.2 | 0.4 |
| Lavavajillas industrial | 2 | 0.2 | 0.4 |
| Lavadora industrial | 2 | 0.1 | 0.2 |
| | | | 4.41 L/s |

Tabla 11. Caudal mínimo total necesario. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Consumo en periodo crítico

En el diseño de sistemas de AC para hoteles, es fundamental realizar un análisis preciso de la demanda simultánea. Siguiendo la norma UNE 149201:2017 "Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios", se establece el procedimiento para determinar el caudal simultáneo de cálculo a partir del caudal total instalado.

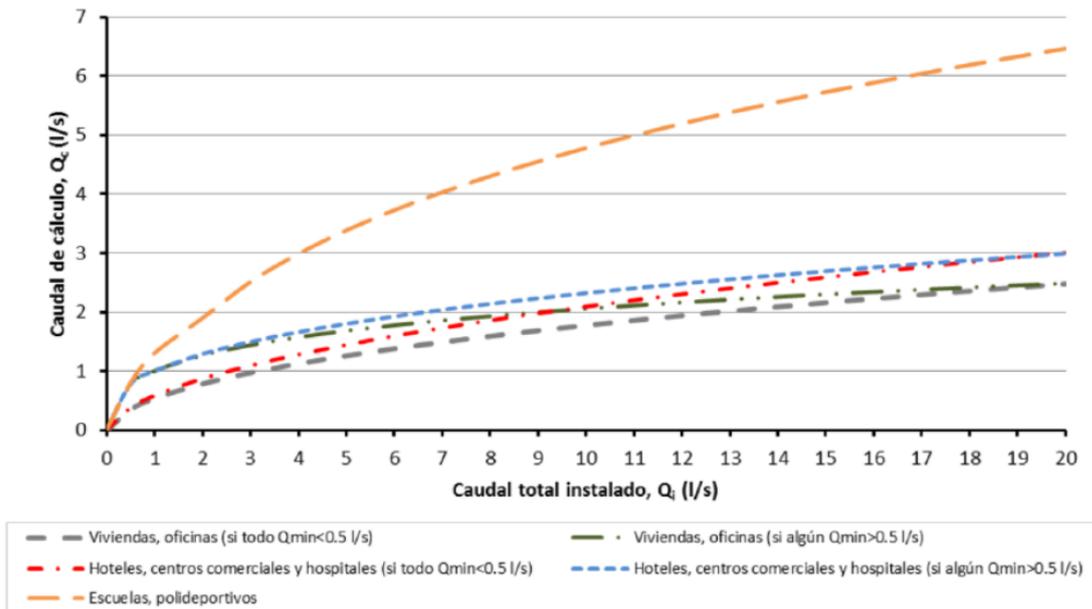


Ilustración 12. Caudal de cálculo Q_c en función del caudal total instalado Q_i para $Q_i \leq 20$ l/s. Fuente: UNE 149201:2017

Para el cálculo del caudal total instalado (Q_t), se han considerado los elementos presentes en las 15 habitaciones dobles del hotel, recogidos en la Tabla 11. Como se puede observar en dicha tabla, todos los caudales mínimos (Q_{min}) de los aparatos están por debajo de 0.5 l/s. Por lo tanto, siguiendo las indicaciones de la norma UNE 149201:2017, se utiliza la curva roja en la gráfica correspondiente a edificios de uso residencial público para obtener el caudal simultáneo de cálculo (Q_c). A partir del caudal total instalado (Q_t), y utilizando esta curva roja en la gráfica, se ha determinado que el caudal simultáneo de cálculo (Q_c) es de 1.3 L/s.

El análisis se centra en el periodo crítico de 15 minutos, típicamente durante las primeras horas de la mañana, cuando se produce la máxima demanda simultánea de ACS. Con el caudal simultáneo de cálculo obtenido, se determina que el consumo durante este periodo crítico será de:

$$Q_c = 1,3 \frac{L}{s} * 60 \frac{s}{min} * 15 min = 1170 L \quad [5]$$

Depósito de acumulación

Para garantizar un suministro constante y eficiente de agua caliente, es esencial contar con un volumen de acumulación apropiado. Siguiendo las directrices del IDAE, se recomienda un volumen de acumulación entre el 50% y el 100% del consumo diario total. En este caso, optando por un punto medio del 75%, y considerando el consumo diario total de 2070 litros, se determina que el depósito de acumulación debe tener una capacidad de 1555 litros. Este volumen de acumulación debe ser capaz de hacer frente al periodo crítico calculado de 1,170 litros en 15 minutos, lo cual queda garantizado con el volumen seleccionado.

Potencia requerida

La potencia requerida para el sistema de ACS debe calcularse considerando el caso más desfavorable, que en este caso viene determinado por la necesidad de recuperar el volumen de agua consumido durante el periodo crítico. Asumiendo un diferencial de

temperatura de 50°C (elevando la temperatura del agua de 10°C a 60°C) y considerando que debemos calentar 1,170 litros en un tiempo de recuperación razonable de 2 horas para estar preparados para el siguiente periodo punta, la potencia necesaria sería:

$$P = \frac{1170 \text{ L} * 1 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 50^\circ\text{C}}{2 \text{ h} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 34 \text{ kW} \quad [6]$$

Este dimensionamiento asegura que el sistema pueda calentar el volumen de agua consumido durante el periodo crítico en un tiempo razonable, manteniendo así la disponibilidad de ACS incluso en periodos de alta demanda.

Es importante subrayar que estos cálculos y estimaciones se basan en la normativa vigente y estándares de la industria. Para una implementación óptima y precisa, se recomienda considerar factores específicos del hotel, como su ubicación exacta, el perfil detallado de los huéspedes y las posibles variaciones estacionales en la demanda. Además, la consulta con un ingeniero especializado en sistemas de ACS sería altamente beneficiosa para afinar estos cálculos y asegurar que el sistema se ajuste perfectamente a las necesidades únicas de este hotel boutique.

8.7. Selección de equipos

El dimensionamiento de los equipos principales se ha realizado a partir de las cargas térmicas de diseño obtenidas en la sección anterior, que han resultado en una demanda máxima de 42 kW en refrigeración durante el verano, 23.7 kW en calefacción durante el invierno y una potencia necesaria de 34 kW para la producción de agua caliente sanitaria a 60 °C, con un volumen de acumulación de 1500 litros. Estas condiciones definen los tres pilares fundamentales de la instalación: climatización en frío, climatización en calor y producción de ACS, cada uno con características propias pero que deben integrarse de manera sencilla y eficiente en un único sistema.

Con el fin de evitar esquemas hidráulicos complejos, con múltiples generadores en paralelo y control diferenciado para cada servicio, se ha optado por una solución comercial compacta tipo plug & play. Este tipo de sistemas, basados en bombas de calor

reversibles de aire a agua en configuración chiller, permiten cubrir en una sola máquina tanto las necesidades de climatización como la producción de ACS mediante la gestión de prioridad sanitaria. La elección se ha basado en criterios de eficiencia energética, sencillez de instalación, fiabilidad operativa y disponibilidad en el mercado local, priorizando soluciones respaldadas por fabricantes con servicio técnico en Baleares.

El modelo seleccionado ha sido la bomba de calor reversible Daikin EWYT085B-SLA1, perteneciente a la gama Bluevolution con refrigerante R32. Se trata de un equipo de tipo aire-agua con compresores scroll inverter que ofrece una capacidad frigorífica nominal de 75 kW en condiciones de 7/12 °C y aire exterior a 35 °C, así como una capacidad calorífica en torno a los 70–80 kW a 45/40 °C y aire exterior a 7 °C. Además, la máquina es capaz de impulsar agua hasta 60–65 °C, lo que la hace adecuada para la producción de ACS sin necesidad de resistencias adicionales salvo para el ciclo de choque térmico.



Ilustración 13. Bomba de calor reversible Daikin EWYT085B-SLA1. Fuente: Daikin, 2025.

Si bien la potencia nominal de este modelo excede las cargas calculadas, la selección se justifica porque se trata del equipo de menor capacidad disponible en la gama que cumple con las tres condiciones de diseño, garantizando margen de operación y fiabilidad en la recuperación de ACS. El posible sobredimensionado en calefacción se corrige mediante la instalación de un depósito de inercia de 500 litros en el circuito de climatización, que absorbe la potencia mínima modulada de la bomba de calor y evita arranques y paradas frecuentes en condiciones de baja carga. De este modo se asegura un funcionamiento estable durante todo el año.

El sistema se completa con un depósito de acumulación de ACS de 1500 litros, de tipo estratificado y equipado con resistencia eléctrica de apoyo de 6 a 9 kW para choques térmicos y puntas de consumo. La conexión entre la bomba de calor y el depósito se realiza a través de un intercambiador de placas de 40 kW, que garantiza la separación entre el circuito primario y el sanitario y permite una transferencia eficiente de energía. En el circuito de ACS se incorpora además una válvula mezcladora termostática que limita la temperatura de distribución a 45–50 °C, así como un sistema de recirculación que mantiene la temperatura homogénea en toda la red.

| Elemento | Descripción | Características principales |
|---------------------------------|--|--|
| Generador principal | Bomba de calor aire-agua reversible Daikin EWYT085B-SLA1 | Capacidad frigorífica 75 kW (7/12 °C, aire 35 °C); capacidad calorífica 70–80 kW (45/40 °C, aire 7 °C); producción ACS hasta 60–65 °C; compresores scroll inverter; refrigerante R32 |
| Depósito ACS | Acumulador estratificado | Volumen 1 500 L; aislamiento reforzado; resistencia eléctrica de 6–9 kW para choques térmicos; válvula mezcladora termostática a 45–50 °C |
| Intercambiador de placas | Separación primario/sanitario | Potencia de transferencia 40 kW; baja pérdida de carga; acero inoxidable |
| Depósito de inercia | Circuito de climatización | Volumen 500 L; conexión a colector de fancoils |
| Bombas de circulación | Primario climatización, primario ACS y recirculación ACS | Caudal variable mediante control electrónico inverter; caudales de diseño 7,2 m ³ /h en frío y 5,9 m ³ /h en ACS |
| Accesorios | Elementos de seguridad y control | Válvulas de seguridad, purgadores automáticos, separador de microburbujas, desfangador magnético, vasos de expansión |

Tabla 12. Resumen de equipos principales seleccionados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

El funcionamiento del sistema se basa en un esquema de prioridad sanitaria. En condiciones normales, la bomba de calor trabaja en modo climatización, aportando frío en verano y calor en invierno. Cuando el depósito de ACS detecta una temperatura inferior al umbral establecido, el equipo conmuta automáticamente a modo ACS, derivando el caudal hacia el intercambiador de placas hasta alcanzar de nuevo la consigna de 60–62 °C. En ese momento, la bomba de calor retorna a su función de climatización. Semanalmente, la resistencia eléctrica integrada en el acumulador ejecuta un ciclo de

choque térmico a 70 °C que garantiza la desinfección frente a legionela conforme a la normativa sanitaria vigente⁴³.

La selección del modelo Daikin EWYT085B-SLA1 no solo responde a criterios de capacidad y fiabilidad, sino también a su contribución a la sostenibilidad del edificio. El uso de refrigerante R32 supone una reducción significativa del Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) respecto al tradicional R410A, con un GWP aproximadamente un 68 % inferior⁴⁴. Este aspecto, unido a la elevada eficiencia estacional (EER y COP elevados gracias a la tecnología inverter), permite reducir las emisiones indirectas de CO₂ asociadas al consumo eléctrico y facilita el cumplimiento de las exigencias del CTE DB-HE0 y HE4 en materia de eficiencia energética y uso de energías renovables. De este modo, el sistema seleccionado contribuye de forma directa a los objetivos de descarbonización y transición energética marcados por la Unión Europea para el sector de la edificación, sin comprometer la funcionalidad ni la conservación del edificio histórico.

En conjunto, la solución adoptada permite cubrir de manera sencilla y eficiente las tres demandas energéticas del edificio. La utilización de un único generador compacto evita complicaciones en la instalación y en la operación diaria, asegura un elevado rendimiento estacional gracias a la tecnología inverter y al uso de refrigerante R32, y ofrece un sistema fiable y robusto, con soporte técnico próximo y facilidad de integración en el contexto de Menorca. La elección de este modelo, aun siendo de mayor capacidad que las cargas calculadas, garantiza una rápida recuperación del ACS, un funcionamiento estable en climatización y un margen de seguridad adecuado para el correcto servicio del hotel.

⁴³ BOE-A-2022-10297 Real Decreto 487/2022

⁴⁴ Mota-Babiloni et al., 2017.

9. Ventilación y calidad del aire

La ventilación constituye uno de los pilares fundamentales en la rehabilitación energética de edificios históricos destinados a uso hotelero. Su importancia es doble: por un lado, resulta esencial para garantizar la salud y el confort de los ocupantes; por otro, desempeña un papel clave en la conservación del patrimonio construido y en la eficiencia energética del inmueble. En el caso concreto de los hoteles, el reto es especialmente complejo debido a su elevada densidad de ocupación, su funcionamiento continuo y la alta exigencia de confort por parte de los clientes.

En un edificio histórico, la ventilación ayuda a prevenir problemas causados por la humedad, como la condensación en muros y superficies, la aparición de moho o el deterioro de carpinterías y revestimientos. Al mismo tiempo, debe asegurar una calidad adecuada del aire interior mediante la dilución de contaminantes como el dióxido de carbono, los compuestos orgánicos volátiles o las partículas en suspensión. El marco normativo ofrece una referencia clara en este sentido. En España, el Código Técnico de la Edificación, a través del Documento Básico HS3, establece las condiciones de ventilación para distintos usos, mientras que a nivel europeo la norma EN-16798 fija criterios de calidad del aire interior. A estas referencias se suman las directrices de organismos internacionales como la OMS o la ASHRAE, que establecen límites recomendados de concentración de contaminantes y parámetros de confort higrotérmico.

9.1. Particularidades en la rehabilitación de hoteles históricos

Los edificios históricos presentan condicionantes específicos que los diferencian de las construcciones contemporáneas. En la mayoría de los casos, las soluciones tradicionales se apoyaban en la ventilación natural, ya fuera a través de infiltraciones no controladas por ventanas, puertas y pequeñas fisuras, o bien mediante patios interiores y sistemas de ventilación cruzada. Aunque estas soluciones aseguraban cierta renovación de aire, lo hacían de manera poco eficiente, incrementando las pérdidas energéticas y generando incomodidad térmica en invierno. Además, en procesos de rehabilitación se busca precisamente reducir las infiltraciones para mejorar la eficiencia, lo que obliga a incorporar sistemas de ventilación controlada.

A todo ello se suma la restricción patrimonial, ya que en muchos edificios catalogados no es posible introducir conductos o rejillas visibles en fachadas y cubiertas sin alterar su

estética. En el caso de un hotel, las exigencias son aún más elevadas que en otros usos residenciales. Los huéspedes esperan un ambiente interior confortable, sin olores, con un nivel de humedad adecuado y una temperatura estable. La ocupación continuada de las habitaciones y de los espacios comunes incrementa notablemente la concentración de contaminantes como el CO₂, por lo que los sistemas de ventilación deben asegurar caudales constantes y fiables durante todo el año.

9.2. Estrategias de ventilación aplicables

En la práctica, las estrategias de ventilación aplicables a la rehabilitación de hoteles históricos pueden agruparse en tres grandes enfoques.

La ventilación natural aprovecha la apertura de ventanas, la disposición de patios o incluso chimeneas de ventilación. Es la solución más respetuosa con el patrimonio, pero resulta difícil de controlar y dependiente de las condiciones climáticas. Además, en climas húmedos como el mediterráneo, puede introducir aire cargado de humedad que agrava los problemas de condensación y malestar.

La ventilación mecánica controlada, especialmente los sistemas de doble flujo con recuperador de calor, representa la opción más eficaz desde el punto de vista energético. Estos equipos permiten introducir aire exterior filtrado y pretratado, reduciendo la carga de climatización tanto en invierno como en verano. Sus principales ventajas son la eficiencia energética, la garantía de calidad del aire gracias al filtrado y el control, y la posibilidad de integrarse con los sistemas de climatización y ACS. No obstante, presentan como principal dificultad la necesidad de conductos y rejillas, lo que en un edificio histórico puede resultar incompatible con la protección patrimonial. En muchos casos, la solución pasa por recurrir a equipos descentralizados en habitaciones o zonas comunes, lo que reduce la necesidad de redes de distribución complejas.

Los sistemas híbridos combinan ventilación natural y mecánica, aprovechando las condiciones favorables del clima y recurriendo a la ventilación mecánica cuando sea necesario. El uso de sensores de CO₂, humedad o compuestos orgánicos volátiles permite ajustar el caudal de aire en función de la ocupación real, optimizando el confort y reduciendo consumos.

En el ámbito de la rehabilitación hotelera, destacan los recuperadores de calor de alta eficiencia, capaces de reducir de forma significativa la demanda energética asociada a ventilación, así como los equipos descentralizados, que se instalan directamente en cada estancia sin necesidad de conductos. El control inteligente a demanda y la filtración avanzada del aire constituyen también herramientas cada vez más extendidas. Estas soluciones pueden complementarse con medidas pasivas, como la ventilación nocturna en verano o el diseño de aperturas que favorezcan la ventilación cruzada en patios interiores.

9.3. Retos en rehabilitación patrimonial

Uno de los principales retos en la rehabilitación de edificios históricos es encontrar el equilibrio entre eficiencia energética y conservación patrimonial, dado que la integración de sistemas mecánicos de ventilación puede comprometer elementos protegidos. Por ello, se deben implementar soluciones de mínima intrusión, como ocultar conductos en falsos techos, aprovechar patios interiores para el movimiento del aire o usar equipos compactos y descentralizados en habitaciones.

Un estudio centrado en el análisis térmico de la Basílica de Santa María del Mar en Barcelona muestra que la ventilación natural no resulta suficiente para mantener el confort en verano, especialmente debido a limitaciones de seguridad, lo que obliga a considerar sistemas mecánicos cuidadosamente integrados⁴⁵. En este caso, la necesidad de preservar el patrimonio arquitectónico impone restricciones estrictas sobre intervenciones visibles, subrayando la importancia de soluciones que respeten el contexto histórico del edificio.

Por otro lado, el caso del Castillo de Kršan, ubicado en Istria (Croacia), ofrece un enfoque multifacético hacia la rehabilitación energética respetuosa con el patrimonio. Mediante un modelo dinámico de demanda energética, el estudio muestra que las mayores reducciones de consumo térmico se obtuvieron con medidas pasivas como el sombreado exterior y la ventilación natural nocturna. Además, cuando estas se combinan con mejoras como la ventilación mecánica con recuperación de calor, el aislamiento térmico, ventanas eficientes y mayor hermeticidad, se alcanza una reducción del consumo energético de

⁴⁵ Onecha y Dotor, 2021.

hasta el 80 %⁴⁶. Este enfoque integrado permite conservar la integridad arquitectónica del edificio patrimonial mientras se mejora significativamente su desempeño energético.

Estos ejemplos subrayan que lograr una compatibilidad efectiva entre la conservación del patrimonio y la eficiencia energética requiere un enfoque flexible y contextualizado. La combinación de medidas pasivas y activas, especialmente cuando se incorporan tecnologías de ventilación mecánica adaptadas al entorno histórico, se convierte en una estrategia robusta para garantizar confort, ahorro energético y preservación patrimonial.

9.4. Estimaciones energéticas e higiénicas

Para mostrar el impacto energético de la ventilación y la importancia de las tecnologías de recuperación de calor, es útil calcular las cargas térmicas asociadas a la entrada de aire exterior y analizar cómo varía la concentración de CO₂ en una habitación estándar.

La carga térmica se calcula mediante la expresión:

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad [7]$$

donde \dot{m} es el caudal másico de aire (kg/s), c_p el calor específico del aire (1000 J/kg·K) y ΔT la diferencia de temperatura entre interior y exterior. Considerando un caudal de ventilación de 1500 m³/h, equivalente a 0,5 kg/s, se obtiene que en condiciones de invierno, con una temperatura exterior de 10 °C y una interior de 21 °C, la carga asociada es de aproximadamente 5,5 kW. En verano, con una temperatura exterior de 30 °C y una interior de 24 °C, la carga asciende a unos 3 kW. Estas cifras muestran la magnitud de la demanda energética adicional que supone la ventilación en ausencia de recuperación de calor.

Si se introduce un recuperador con una eficiencia del 80 %, la carga se reduce significativamente, pasando a 1,1 kW en invierno y 0,6 kW en verano. De este modo, el ahorro energético alcanzado se sitúa en torno al 80 %, lo que evidencia la relevancia de esta tecnología en la rehabilitación de hoteles históricos.

⁴⁶ Blecich et al., 2016.

En cuanto a la calidad del aire, puede evaluarse mediante un balance de concentración de dióxido de carbono en una habitación doble. En estado estacionario, la concentración interior se calcula como:

$$C = C_{ext} + \frac{G}{Q} \quad [8]$$

donde C es la concentración de CO_2 en el interior, C_{ext} la concentración exterior (400 ppm), G la tasa de generación de CO_2 (L/s) y Q el caudal de ventilación (L/s). Suponiendo dos personas en reposo, con una emisión conjunta de 0,016 L/s, y un caudal de ventilación de 25 L/s, se obtiene una concentración de 1040 ppm. Este valor se encuentra dentro de los límites aceptables definidos por la norma EN 16798 para garantizar una calidad de aire adecuada en espacios hoteleros.

9.5. Selección del sistema de ventilación propuesto

Para el hotel boutique objeto de estudio, con quince habitaciones dobles y pequeñas zonas comunes, se adopta una solución centralizada con recuperación de calor instalada en la azotea y distribuida mediante conductos ocultos en falsos techos. Se selecciona el Rosenberg SupraBox 2000 H, cuya capacidad nominal de 2.000 m³/h a 250 Pa se ajusta al caudal estimado para el conjunto, evitando sobredimensionados innecesarios. Como se puede observar en la ficha técnica ubicada en el Anexo II, el equipo cuenta con un intercambiador de placas de flujo cruzado con rendimiento de recuperación de calor de hasta el 92 % (clase H1), motores EC de alta eficiencia (SFP clase 3), filtración F7 en impulsión y M5 en retorno, y control integrado con bypass, lo que permite reducir de forma sustancial las cargas térmicas asociadas a la ventilación manteniendo estándares de calidad del aire interior adecuados para uso hotelero.



Standard equipment:

- frameless housing with 60 mm insulation
- coil coated inside and out (RAL 7035)
- conforms to VDI 6022
- integrated control (Plug & Play)
- horizontal connections
- energy efficient EC-fans
- high efficiency heat recovery
- 2 service doors; bypass
- interior installation

Ilustración 14. Unidad de ventilación centralizada Rosenberg SupraBox 2000H. Fuente: Rosenberg, 2025.

La elección de un sistema centralizado responde principalmente a criterios patrimoniales. Las alternativas descentralizadas tipo “hole-in-the-wall” o unidades puntuales con intercambiador cerámico exigen abrir múltiples perforaciones visibles en fachadas para cada estancia, introduciendo rejillas exteriores y un impacto visual difícilmente compatible con la protección del edificio, además de multiplicar los puntos de mantenimiento. Con la solución centralizada en la cubierta, las únicas conexiones con el exterior se concentran en dos bocas discretas en azotea (toma y expulsión), preservando la imagen arquitectónica de las fachadas principales y simplificando la tramitación patrimonial. La distribución por falsos techos permite llevar el aire a habitaciones y espacios comunes sin afectar elementos singulares; la red se proyectará con equilibrado de caudales, compuertas de regulación y silenciadores para garantizar niveles acústicos compatibles con uso hotelero.

Desde el punto de vista operativo y económico, centralizar la ventilación en una única unidad reduce el número de equipos, concentra el mantenimiento (sustitución de filtros, inspecciones) y facilita la integración en el sistema de gestión del edificio. Con 377 kg de peso y dimensiones $1.800 \times 1.660 \times 760$ mm, el equipo puede colocarse en una esquina de la cubierta, con tratamiento antivibratorio y bandejas de condensados, sin interferir con los espacios de uso del hotel. La alta eficiencia de recuperación se traduce en un menor consumo de climatización tanto en invierno como en verano, coherente con los objetivos de rehabilitación energética. Además, el control con bypass posibilita estrategias de free-cooling en periodos intermedios, aprovechando el clima mediterráneo de Menorca sin comprometer el confort.

Como conclusión, el SupraBox 2000H ofrece el equilibrio perfecto entre capacidad adecuada para el hotel boutique, mínimo impacto en la envolvente patrimonial al concentrar las perforaciones en cubierta, eficiencia energética elevada y facilidad de mantenimiento, justificando su elección frente a soluciones con perforaciones en fachada y unidades descentralizadas habitación a habitación. La integración de esta solución permite garantizar caudales higiénicos adecuados, mejorar el confort térmico y acústico de los huéspedes y, al mismo tiempo, preservar la integridad patrimonial del edificio. En consecuencia, la ventilación centralizada con recuperación de calor se configura como la opción más coherente para compatibilizar eficiencia energética, conservación y funcionalidad en el marco del presente proyecto.

Con el fin de integrar de manera eficiente las nuevas instalaciones de climatización y fontanería, se ha optado por la incorporación de un falso techo, con un descenso aproximado de 15 cm respecto a la cota original. Esta solución constructiva permite disponer de un espacio técnico oculto a través del cual canalizar todas las tuberías de agua fría y caliente, así como los conductos de impulsión y retorno de climatización. De este modo, se asegura una distribución ordenada y accesible de las instalaciones, facilitando tanto el mantenimiento como posibles futuras intervenciones, sin necesidad de afectar a los muros o elementos estructurales.

La propuesta se plantea siempre desde una perspectiva de respeto hacia el valor patrimonial del edificio. Por ello, la actuación se limita a aquellas estancias cuyos techos no presentan una ornamentación destacada, lo que reduce el impacto visual y mantiene la coherencia estética del conjunto. En los espacios con mayor interés arquitectónico, como en la última planta, se ha decidido conservar las vigas originales a la vista, preservando así la autenticidad y carácter histórico de la edificación.

En definitiva, la introducción de este falso techo se concibe como una medida de compromiso entre la necesidad de modernizar el edificio con criterios de eficiencia energética y confort, y la obligación de proteger sus cualidades patrimoniales. El esquema detallado del trazado de tuberías y conductos se incluye en el Anexo III para su consulta.



Ilustración 16. Techo original en la entrada del edificio. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Ilustración 15. Falso techo propuesto en la entrada del edificio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

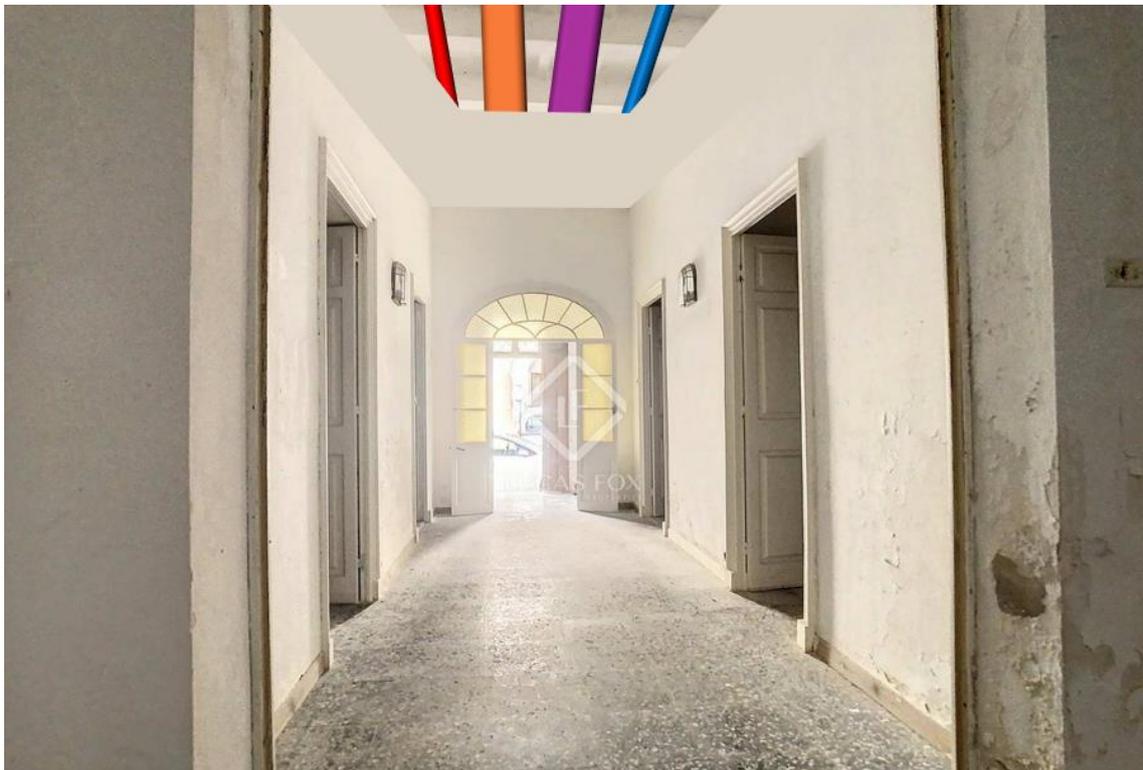


Ilustración 17. Esquema visual de la integración de tuberías y conductos en falso techo. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En definitiva, la introducción de este falso techo se concibe como una medida de compromiso entre la necesidad de modernizar el edificio con criterios de eficiencia energética y confort, y la obligación de proteger sus cualidades patrimoniales. El esquema detallado del trazado de tuberías y conductos se incluye en el Anexo III.

10. Producción eléctrica renovable (FV)

En este capítulo se llevará a cabo la integración de energía solar fotovoltaica en el hotel boutique del proyecto. Primero, estimaremos el potencial energético disponible en Menorca; después, cuantificaremos la generación eléctrica anual bajo distintos escenarios; y finalmente seleccionaremos la configuración que mejor responda a criterios técnicos, estéticos y de sostenibilidad dentro del marco patrimonial.

La energía fotovoltaica se presenta hoy como una palanca fundamental para transitar hacia la sostenibilidad energética, incluso en edificios con alto valor histórico. Incorporar fotovoltaica en una construcción tradicional implica un equilibrio delicado: preservar su integridad arquitectónica mientras se aprovecha la abundante radiación solar local para reducir la dependencia de la red y disminuir la huella de carbono. Instituciones como el Instituto Balear de la Energía han desarrollado herramientas cartográficas, a través de IDEIB, que permiten evaluar con precisión la insolación y posibilidades reales de instalación en infraestructuras existentes, lo que facilita su adaptación en el tejido urbano y patrimonial.

En España, el marco normativo ha dado pasos decisivos para fomentar el autoconsumo eléctrico con renovables. La Ley 24/2013 del sector eléctrico define el autoconsumo como el consumo de energía generada en las proximidades del lugar de uso, creando un entorno favorable para instalaciones individuales o colectivas⁴⁷. Este avance normativo ha permitido que comunidades de energías renovables y edificios protegidos exploren soluciones que antes enfrentaban barreras jurídicas y técnicas.

Por último, el potencial de integrar fotovoltaica en entornos patrimoniales no es una idea aislada. En Escocia, el reciente proyecto HI-SCOT, impulsado por la Robert Gordon University, Edinburgh Napier University y Historic Environment Scotland, se propone explorar cómo las tecnologías fotovoltaicas pueden mimetizarse con la arquitectura histórica, usando recubrimientos y paneles adaptados que respeten el carácter estético del edificio⁴⁸. Este tipo de iniciativas destacan que la conservación y la sostenibilidad pueden perfectamente converger en proyectos reales.

En este contexto, el enfoque de este capítulo se diseña para demostrar que un hotel histórico en Menorca puede beneficiarse de la energía solar sin comprometer su valor

⁴⁷ Minist. Para Transic. Ecológica El Reto Demográfico, 2021.

⁴⁸ RGU University. Proctor, 2025.

patrimonial. Se parte de datos concretos de radiación insular, se examinan tecnologías fotovoltaicas compatibles y se estima el rendimiento realista mediante escenarios que incluyan cubiertas y estructuras auxiliares. Todo ello para elegir una solución eficiente, estética y viable, coherente con los criterios de rehabilitación energética con respeto al patrimonio. En las siguientes páginas se desarrolla en detalle cómo el recurso solar insular y las opciones tecnológicas disponibles pueden materializarse en una propuesta fotovoltaica que aporte energía limpia al edificio sin comprometer su valor histórico.

10.1. Potencial solar en Menorca

El recurso solar en Menorca es especialmente abundante y constante a lo largo del año, lo que convierte la isla en un entorno óptimo para el aprovechamiento de la energía fotovoltaica. De acuerdo con estimaciones climáticas, Menorca recibe alrededor de 2 981 horas de sol anuales, lo que la sitúa entre las regiones más soleadas de Europa. Esta cifra representa una base sólida para plantear instalaciones renovables de autoconsumo con alta productividad.

Las herramientas de referencia como el Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), desarrollado por la Comisión Europea, permiten caracterizar con precisión el recurso solar en cualquier punto geográfico, ofreciendo datos horarios, mensuales y anuales de irradiación global horizontal, irradiación directa y difusa. Para Menorca, PVGIS reporta una radiación global anual sobre plano inclinado óptimamente que oscila entre 1750 y 2000 kWh/m²·año, dependiendo de la orientación e inclinación.

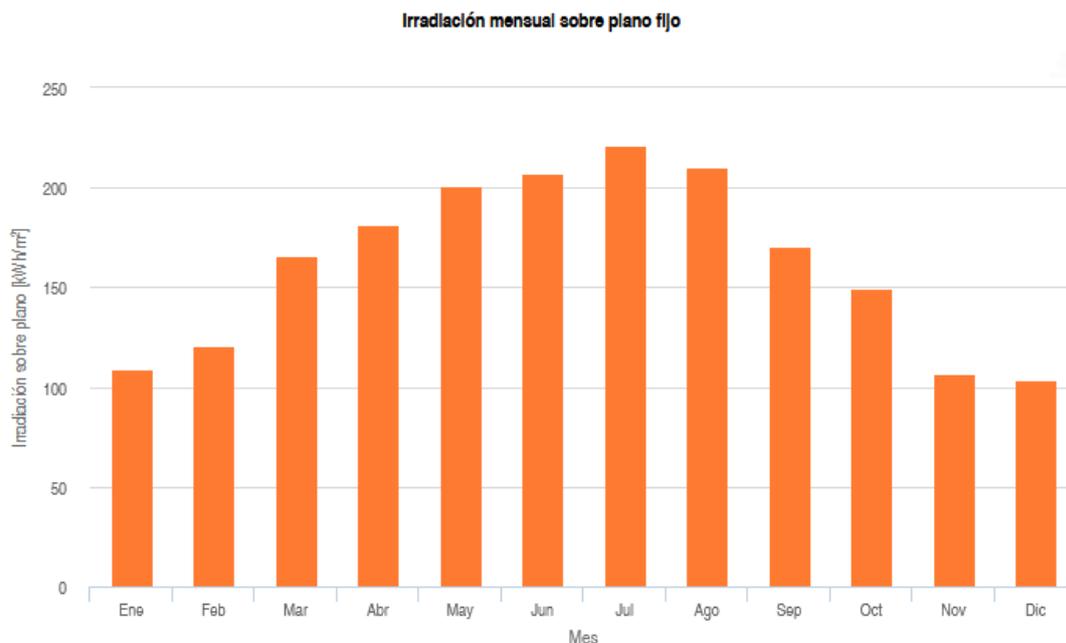


Ilustración 18. Irradiación mensual en Mahón. Fuente: PVGIS, 2025.

Este potencial implica que, en condiciones estándar, cada kWp instalado en la isla puede generar entre 1400 y 1600 kWh/año, cifras muy superiores a la media europea, situada en torno a 1100 kWh/kWp·año. De hecho, recientes estimaciones sitúan a Baleares entre las regiones con mayor irradiación solar del país, lo que la convierte en un enclave privilegiado para la implantación de instalaciones fotovoltaicas de alta eficiencia.⁴⁹

Además del valor absoluto de irradiación, es relevante considerar su distribución estacional. En Menorca, la generación fotovoltaica alcanza máximos en los meses de verano, coincidiendo con el periodo de mayor demanda eléctrica en el sector turístico por el uso intensivo de climatización y servicios auxiliares. Este acoplamiento natural entre recurso solar y consumo refuerza la idoneidad de la tecnología, al reducir la necesidad de vertido a red y optimizar el autoconsumo.

Por otra parte, el Instituto Balear de la Energía (IDEIB) ha desarrollado mapas solares interactivos que identifican cubiertas con potencial de instalación en todo el archipiélago, facilitando el diseño preliminar de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos y patrimoniales. Estas herramientas permiten no solo estimar la generación, sino también valorar la integración territorial y patrimonial, lo cual resulta fundamental en proyectos que deben equilibrar eficiencia energética y conservación histórica.

⁴⁹ EDP Blog. García 2025.



Ilustración 19. Mapa de aptitud para instalaciones fotovoltaicas en el área urbana de Mahón. Fuente: IDEIB, 2025.

Nuestro edificio se localiza donde el punto azul, dentro de la zona representada en verde lima, que según la leyenda cartográfica corresponde a un área de aptitud alta para la instalación de sistemas solares. Este nivel de idoneidad se establece en contraste con otras categorías: la zona amarilla clara indica una aptitud media, la zona naranja refleja una aptitud baja, mientras que la zona gris señala áreas de exclusión, donde no es viable realizar este tipo de implantaciones.

En definitiva, Menorca cuenta con un recurso solar excepcional, tanto en magnitud como en sincronía con la demanda turística. Este escenario convierte a la fotovoltaica en una de las medidas más eficaces y sostenibles para reducir la dependencia energética del hotel objeto de estudio, siempre que se adopten soluciones tecnológicas compatibles con el carácter patrimonial del edificio. En el siguiente apartado se presentarán dichas tecnologías, evaluando su idoneidad desde el punto de vista técnico, estético y normativo.

10.2. Estimación de producción y cobertura de demanda

Una vez identificada la cubierta disponible del edificio, con una superficie aproximada de 70 m², se procede a estimar la producción fotovoltaica anual en diferentes escenarios de aprovechamiento. Para ello, se consideran los parámetros característicos de la radiación solar en Menorca, que permiten asumir un rendimiento específico de entre 1400 y 1600 kWh/kWp·año. A su vez, se adopta una eficiencia de los módulos comprendida entre el 20% y el 22%, valores acordes con la tecnología monocristalina más extendida

en el mercado actual. En la estimación se ha adoptado un ratio de autoconsumo del 85%, valor coherente con la literatura para edificios hoteleros con elevada demanda continua y plantas fotovoltaicas dimensionadas por debajo del consumo total. Este supuesto permite aproximar el reparto entre energía autoconsumida y excedentes vertidos a red con compensación.

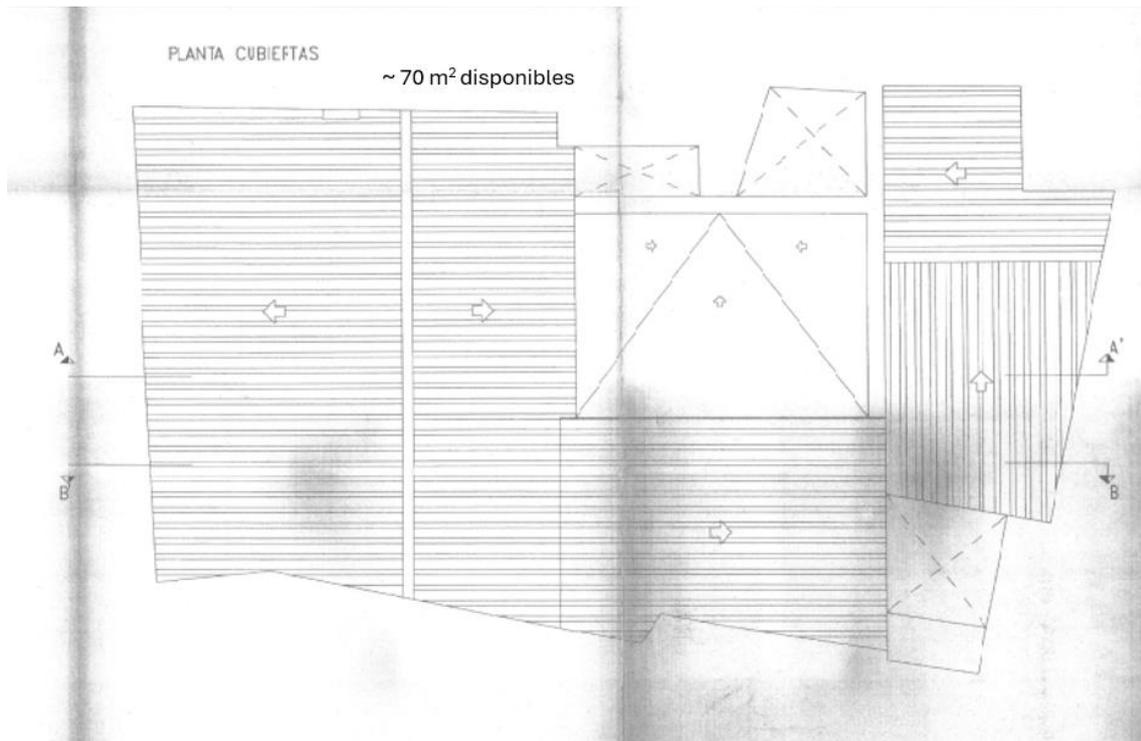


Ilustración 20. Plano cubiertas del edificio. Fuente: Lucas Fox, 2025.

Con el fin de representar distintas posibilidades de implantación, se plantean tres escenarios de dimensionado que difieren en el grado de aprovechamiento de la superficie disponible y en la eficiencia de los módulos instalados. El primero de ellos, denominado escenario conservador, supone la utilización del 60% de la cubierta útil, contemplando la existencia de limitaciones patrimoniales o de sombreados que reduzcan la superficie realmente aprovechable. El escenario central considera un 70% de superficie disponible y una eficiencia media del 21%, configurándose como la alternativa más realista para el caso de estudio. Por último, el escenario ambicioso explora el máximo potencial, alcanzando un 80% de la cubierta con módulos de alta eficiencia del 22%. Los resultados derivados de este análisis se recogen en la Tabla 13.

| Escenario | Superficie Util (m ²) | Eficiencia modulo (%) | Potencia FV (kWp) | Produccion anual (kWh) | Produccion (rango) [kWh] | Autoconsumo (kWh) | Excedentes (kWh) |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| Conservador | 42 | 20 | 8.4 | 12600 | 11760-13440 | 10710 | 1890 |
| Central | 49 | 21 | 10.29 | 15435 | 14406-16464 | 13120 | 2315 |
| Ambicioso | 56 | 22 | 12.32 | 18480 | 17248-19712 | 15708 | 2772 |

Tabla 13. Estimación de producción FV en tres escenarios de implantación. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los valores obtenidos muestran que la potencia pico instalable oscila entre 8,4 y 12,3 kWp, con una producción anual situada entre 12,6 y 18,5 MWh en función del escenario. El escenario central, con una potencia instalada de 10,3 kWp, permite alcanzar una generación aproximada de 15,4 MWh al año. Estos resultados ponen de manifiesto que, aun con limitaciones de superficie, la energía fotovoltaica puede desempeñar un papel relevante en la estrategia de sostenibilidad del edificio.

Más allá de la producción anual total, resulta fundamental analizar la distribución mensual de la generación para valorar su sincronía con los patrones de consumo. La Tabla 14 presenta la producción estimada para cada mes en el escenario central, donde se observa claramente la estacionalidad del recurso solar.

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Produccion (kWh) | 617 | 926 | 1389 | 1698 | 1852 | 1852 | 1852 | 1698 | 1389 | 1080 | 617 | 463 |

Tabla 14. Producción mensual de energía FV en el escenario central (10,3 kWp). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los resultados mensuales muestran que la producción alcanza máximos durante los meses de junio a agosto, con registros cercanos a los 2000 kWh mensuales, mientras que en invierno se sitúa por debajo de los 500 kWh.

La coincidencia entre el pico de generación fotovoltaica y el incremento del consumo eléctrico en la temporada turística de verano constituye un factor especialmente favorable para el autoconsumo. Durante los meses de mayor actividad del hotel, la energía producida se utiliza en gran medida de manera directa para alimentar los sistemas de climatización y los servicios auxiliares, reduciendo la necesidad de recurrir a la red eléctrica. En los meses de invierno, aunque la aportación es más modesta, la producción renovable sigue contribuyendo a mejorar el balance energético y a reforzar la independencia parcial del edificio respecto al suministro exterior.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el escenario central constituye la opción más equilibrada, ya que combina un aprovechamiento adecuado de la superficie disponible con un impacto visual controlado y una producción anual

significativa. Este dimensionado servirá de base para la selección definitiva de la instalación, que será abordada en el siguiente apartado.

10.3. Selección de la instalación propuesta

Una vez analizados el potencial solar y la superficie disponible en la cubierta, se procede a la selección definitiva de la instalación fotovoltaica para el hotel. El criterio seguido combina tres factores principales: aprovechar al máximo la energía solar disponible en Menorca, garantizar la integración en un edificio con valor patrimonial y optar por una tecnología reconocida por su fiabilidad y eficiencia.

Para este proyecto se ha escogido el módulo FuturaSun FU590M Nova Duetto, de 590 Wp de potencia unitaria y 22,84% de eficiencia, en configuración de 24 unidades. La elección de este panel se justifica por su elevado rendimiento, sus garantías de producto de 30 años y su buena reputación en el mercado. Según un artículo reciente de SunFields Europe⁵⁰, FuturaSun se encuentra entre los fabricantes que ofrecen algunos de los mejores paneles disponibles actualmente, junto a otras marcas de referencia internacional. Esta mención respalda la decisión, no solo desde el punto de vista técnico, sino también en términos de prestigio y fiabilidad de la inversión.

⁵⁰ SunFields Europe. Alonso, 2025.

Placa Solar 590W Bifacial - FuturaSun FU590M Nova Duetto



El panel solar de 590W Bifacial N-Type de FuturaSun es el primer panel con **30+30 años de garantía del mercado** (para instaladores certificados FuturaSun) y **protección Clase A contra incendios**. Benefíciate de unos los mejores paneles solares calidad precio del mercado, somos Distribuidor Oficial FuturaSun.

-  POTENCIA: 590 W
-  Protección Fuego: Clase A (IEC 61730 / UL790)
-  DURABILIDAD: Potencia mínima garantizada de 87% a los 30 años !!
-  TECNOLOGÍA: Bifacial (Doble Vidrio) con células N-Type.
-  USOS: Comunidades de vecinos, Empresas, Industria, Viviendas
-  GARANTÍA: 30 años de potencia y producto (instaladores certificados)
-  EFICIENCIA: 22,84%
-  COEFICIENTE DE TEMPERATURA: -0,29%/°C excelente para zonas cálidas como España o Portugal.
-  TAMAÑO: 1.134 X 2.278 X 30 mm.
-  Peso: 32 kg
-  SKU: FU590M Nova Duetto
-  DISPONIBLE: Julio 2024
-  Pallet: 32 unidades
-  FABRICANTE: Fabricante Italiano desde hace más de 15 años perteneciente al IBC4EU.
-  LICITACIONES: Certificado Balance Cero Huella de Carbono

Ilustración 21. Módulo fotovoltaico FuturaSun FU590M. Fuente: FuturaSun, 2025.

La instalación se organiza en la cubierta principal del edificio, con disposición coplanar respecto al plano de la cubierta para minimizar el impacto visual y favorecer la integración arquitectónica. Se ha previsto una separación de 20 cm entre filas de módulos, lo que facilita el acceso para mantenimiento, mejora la ventilación posterior y prolonga la vida útil del sistema al reducir la acumulación de calor. Con este esquema de montaje, los 24 módulos ocupan una superficie de unos 62 m², dentro de los 70 m² disponibles, dejando márgenes en los extremos y pasos técnicos de seguridad.

La Ilustración 22 muestra la distribución definitiva de los módulos sobre la cubierta, donde se aprecian las separaciones mencionadas. Esta representación gráfica ayuda a visualizar la integración de los paneles en el edificio y la cómo se ha resuelto su modulación.

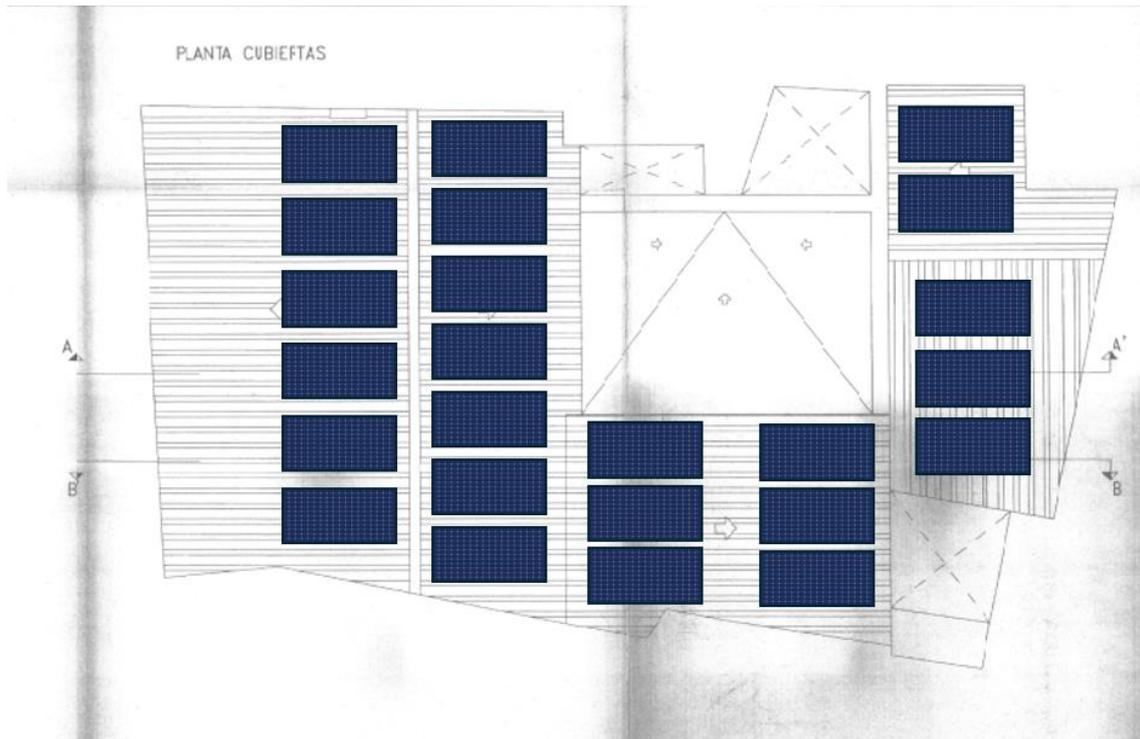


Ilustración 22. Distribución de la instalación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Desde el punto de vista eléctrico, la potencia total instalada alcanza los 14,16 kWp. La producción anual puede estimarse mediante la expresión:

$$E_{anual} = P_{instalada} * Y_{específico} \quad [9]$$

Donde $P_{instalada} = 14,16 \text{ kWp}$ e $Y_{específico}$ representa el rendimiento específico en Menorca, tomado en $1500 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{año}$.

Sustituyendo, obtenemos que la producción anual es de aproximadamente 21200 kWh/año , o lo que es lo mismo $21,2 \text{ MWh/año}$.

Para caracterizar mejor el comportamiento estacional, se ha estimado la producción mensual a partir de la generación anual calculada y de la distribución solar típica de Menorca.

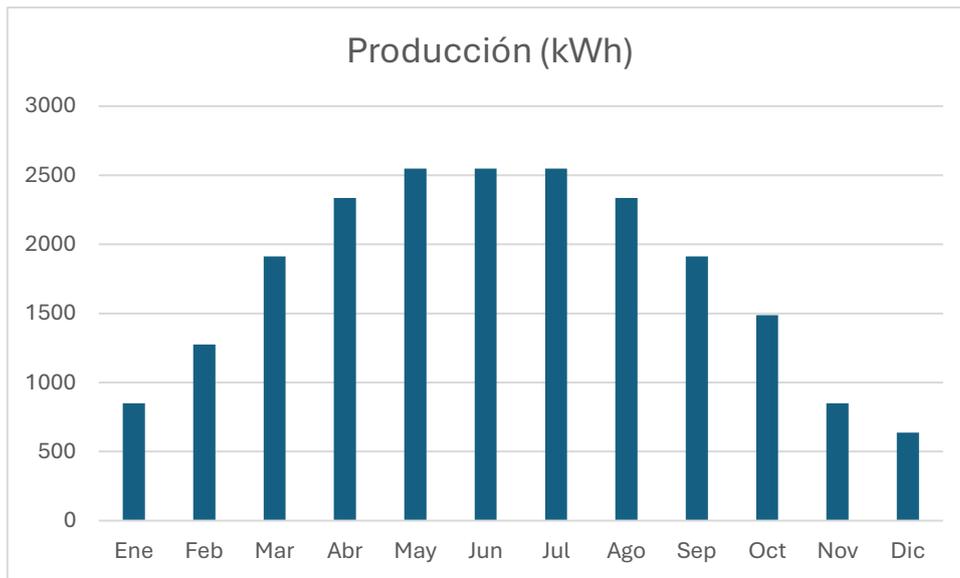


Ilustración 23. Distribución mensual de la producción fotovoltaica estimada en Menorca (14,16 kWp). Fuente: Elaboración propia, 2025.

El resultado se muestra en la Ilustración 23, donde un gráfico de barras refleja claramente el patrón mediterráneo: máximos durante los meses de verano y mínimos en invierno. Esta estacionalidad resulta especialmente favorable para el hotel, ya que la mayor disponibilidad de energía renovable coincide con el periodo de mayor actividad turística.

10.4. Conclusiones

El análisis desarrollado ha permitido evaluar de manera integral el potencial de aprovechamiento de la energía solar en el edificio objeto de estudio. Menorca presenta un recurso solar excepcional, con valores de irradiación que sitúan a la isla entre las regiones más favorables de Europa para la implantación de sistemas fotovoltaicos. Tras revisar las tecnologías disponibles y valorar su adecuación a un entorno patrimonial, se ha optado por una solución de tipo BAPV coplanar, que garantiza la integración arquitectónica y un equilibrio adecuado entre coste, rendimiento y facilidad de mantenimiento.

La propuesta final consiste en la instalación de 24 módulos FuturaSun FU590M Nova Duetto, con una potencia total de 14,16 kWp, capaces de generar en torno a 21,2 MWh anuales. El diseño incorpora separaciones de 20 cm entre módulos, lo que permite un acceso cómodo para las labores de mantenimiento, mejora la ventilación y favorece la durabilidad del sistema a lo largo de su vida útil. Esta producción supone un aporte renovable significativo y con baja huella visual, contribuyendo de manera directa a la reducción de emisiones de CO₂ del hotel y reforzando su estrategia de sostenibilidad.

En términos de impacto energético, la generación estimada permite cubrir aproximadamente entre el 75% y el 90% del consumo eléctrico asociado a climatización y producción de ACS, que constituye uno de los principales usos del edificio. Si se considera la demanda eléctrica total del hotel, la planta aportará entre un 35% y un 60% del consumo, dependiendo de la hipótesis de uso adoptada.

En definitiva, el capítulo demuestra que la incorporación de generación fotovoltaica en un edificio histórico de Menorca no solo es técnicamente viable, sino también compatible con los criterios de conservación patrimonial. Además, representa una de las medidas de mayor impacto dentro del conjunto de la rehabilitación energética planteada, combinando eficiencia, respeto al patrimonio y facilidad de explotación futura.

11. Viabilidad económica

El análisis de la viabilidad económica constituye un complemento indispensable al estudio técnico y energético realizado en los capítulos anteriores. Demostrar que determinadas medidas de eficiencia son técnicamente viables o que permiten reducir el consumo energético no es suficiente. Para que una rehabilitación energética sea realmente aplicable, debe ser también económicamente sostenible en el tiempo. Evaluar los costes de inversión, los gastos de operación y el retorno esperado permite valorar de manera integral el impacto de las actuaciones propuestas y ofrece al gestor del hotel una base sólida para la toma de decisiones.

En el contexto específico de Menorca, la dimensión económica adquiere una relevancia particular. El sector hotelero de la isla se enfrenta a una doble exigencia: por un lado, mantener su competitividad en un mercado turístico altamente estacional y cada vez más sensible a los precios; y por otro, responder a la creciente demanda de los visitantes por establecimientos comprometidos con la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos. La reducción de los costes operativos asociados a la climatización, al agua caliente sanitaria y al consumo eléctrico en general no solo permite mejorar los márgenes de explotación, sino que también constituye un argumento diferenciador en la oferta turística de la isla.

Este capítulo se conecta directamente con los objetivos iniciales planteados en el trabajo: mejorar la eficiencia energética del edificio, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la actividad hotelera. La evaluación económica de las medidas propuestas permitirá comprobar hasta qué punto la rehabilitación energética es capaz de conjugar la conservación del patrimonio histórico con una gestión económicamente rentable, reforzando así la viabilidad global del proyecto.

11.1. Inversión inicial

La primera etapa del análisis económico consiste en determinar la inversión inicial necesaria para la implementación de las medidas de rehabilitación energética planteadas. Esta inversión incluye tanto el suministro de los equipos principales como los sistemas auxiliares, las instalaciones asociadas y la mano de obra de montaje. El desglose detallado de las partidas permite reflejar con mayor precisión el coste real del proyecto y sirve como base para el cálculo posterior de la rentabilidad.

En la Tabla 15 se presenta el presupuesto estimado, elaborado a partir de precios de mercado actualizados para instalaciones de pequeña escala en el sector hotelero en España. Se incluyen la bomba de calor aire-agua seleccionada, el depósito de acumulación de ACS, los climatizadores terminales, el sistema de ventilación, la planta fotovoltaica y todos los elementos necesarios para su correcta integración en el edificio, así como las tuberías, aislamientos, instalación eléctrica y obra de montaje.

| Concepto | Coste estimado (€) |
|--|---------------------------|
| Bomba de calor aire-agua Daikin EWYT085B-SLA1 | 25000 |
| Depósito ACS 1.500 L + accesorios hidráulicos | 7000 |
| Climatizadores / fan-coils terminales | 12000 |
| Sistema de ventilación con recuperador | 8000 |
| Instalación fotovoltaica (24×590 Wp, 14,16 kWp, estructura e inversor) | 24000 |
| Tuberías, aislamientos y accesorios | 10000 |
| Instalación eléctrica asociada | 4000 |
| Mano de obra, obra civil y montaje (≈20 %) | 18000 |
| Total inversión inicial (CAPEX) | 108000 |

Tabla 15. Estimación de inversión inicial de la rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia, 2025.

El coste total de la rehabilitación energética se estima en aproximadamente 108.000 €, valor que representa la inversión necesaria para transformar el edificio histórico en un hotel con sistemas de climatización eficientes, producción de ACS sostenible y generación eléctrica renovable. Este importe constituye la referencia sobre la cual se calcularán los costes operativos, los ahorros anuales y, en última instancia, la rentabilidad del proyecto.

Conviene señalar que la estimación presentada se refiere exclusivamente a las actuaciones energéticas (climatización, ACS, ventilación, instalación fotovoltaica y elementos auxiliares). En el marco de una rehabilitación integral orientada a la explotación hotelera, sería necesario añadir otros costes de relevancia, como la redistribución interior de las plantas, la construcción de baños en cada habitación, la instalación de falsos techos y tabiquería, así como el mobiliario y equipamiento de estancias y zonas comunes. Estos conceptos, según precios de referencia para reformas en edificios históricos destinados a uso turístico, pueden suponer una inversión adicional situada en una horquilla de 300.000 a 500.000 €, en función del nivel de acabados y del estándar de confort buscado. Dichas partidas no se incluyen en el análisis detallado del presente capítulo, ya que no afectan de

manera directa al desempeño energético del edificio, pero resultan esenciales para enmarcar el alcance económico global de la transformación del inmueble en un hotel plenamente operativo.

11.2. Costes operativos y de mantenimiento

Una vez cuantificada la inversión inicial, es necesario analizar los costes de operación y mantenimiento derivados del funcionamiento de las instalaciones. Este aspecto resulta clave, ya que el verdadero valor de una rehabilitación energética se mide en gran parte por la reducción de los gastos recurrentes del edificio a lo largo de su vida útil.

En la situación de referencia (antes de la reforma), el hotel dependía de sistemas de climatización y producción de ACS de baja eficiencia, con un consumo eléctrico elevado y sin aporte de energías renovables. Tras la intervención, la introducción de la bomba de calor aire-agua de alta eficiencia, el sistema de ventilación con recuperación y la planta fotovoltaica permiten una reducción significativa de la demanda eléctrica procedente de la red. No obstante, debe considerarse que el nuevo sistema también implica unos costes de mantenimiento específicos asociados a la tecnología implementada.

En términos de operación, la diferencia fundamental se produce en el consumo energético. Mientras que en el escenario de partida la climatización y la producción de ACS representaban uno de los mayores gastos del hotel, en el escenario reformado dichos consumos se ven compensados en gran medida por la energía generada in situ mediante la instalación fotovoltaica. Ello se traduce en una disminución del gasto eléctrico anual muy considerable.

Por otro lado, los costes de mantenimiento también evolucionan tras la reforma. La bomba de calor y el sistema de ventilación requieren revisiones periódicas, al igual que cualquier instalación de climatización convencional, pero al ser tecnologías más eficientes permiten reducir la frecuencia de averías graves. En el caso de la instalación fotovoltaica, el mantenimiento es muy reducido y se limita a la limpieza de módulos y la verificación periódica de la instalación eléctrica, con un coste bajo en comparación con el ahorro energético que proporciona.

La Tabla 16 recoge una estimación de los costes operativos y de mantenimiento en ambos escenarios.

| Concepto | Escenario base (€/año) | Escenario reformado (€/año) | Observaciones |
|---|------------------------|-----------------------------|---|
| Electricidad climatización + ACS | 18000 | 2500 | FV cubre gran parte del consumo |
| Electricidad otros usos (iluminación, cocina, ascensores, etc.) | 6000 | 6000 | No varía sustancialmente |
| Mantenimiento climatización/ventilación | 2000 | 1500 | Mejora en eficiencia, menor frecuencia de averías |
| Mantenimiento FV | - | 500 | Limpieza e inspección anual |
| Total anual | 26000 | 10500 | |

Tabla 16. Comparativa de costes operativos y de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia, 2025.

De este modo, el coste anual de operación y mantenimiento del hotel pasa de aproximadamente 26.000 € en el escenario base a 10.500 € tras la reforma, lo que supone una reducción de casi un 60 % en los gastos energéticos y asociados al mantenimiento. Esta diferencia constituye la base sobre la cual se calcularán los ahorros netos y los indicadores de rentabilidad económica en las secciones siguientes.

11.3. Ahorros económicos anuales

El principal beneficio económico de la rehabilitación energética reside en la reducción de los costes de operación del hotel. Esta reducción se materializa, por un lado, en la disminución de la factura eléctrica gracias al menor consumo de climatización y ACS y, por otro, en la generación de energía renovable mediante la planta fotovoltaica, que permite autoconsumir gran parte de la producción y reducir la dependencia de la red. A ello se suman los ingresos indirectos derivados de la compensación de excedentes eléctricos vertidos, que aunque no representan una cifra significativa en comparación con el autoconsumo, contribuyen a mejorar el balance global.

La forma de calcular el ahorro neto anual se resume en la siguiente expresión:

$$A_{neto} = (C_{base} - C_{reformado}) + I_{FV} \quad [10]$$

Donde C_{base} es el coste operativo de mantenimiento en el escenario de referencia, $C_{reformado}$ es el coste operativo y de mantenimiento tras la rehabilitación, e I_{FV} son los ingresos por compensación de excedentes de energía fotovoltaica.

Sustituyendo valores, $A_{neto} = 26000 - 10500 + 500 = 16000$ €/año.

El ahorro neto anual se sitúa, por tanto, en torno a 16.000 €, lo que representa una reducción del 62 % de los costes operativos respecto al escenario de partida. Esta cifra constituye la base para el cálculo de los indicadores de rentabilidad que se desarrollarán en la siguiente sección.

11.4. Evaluación de la rentabilidad

Una vez cuantificados los ahorros económicos anuales derivados de la rehabilitación energética, es posible evaluar la rentabilidad de la inversión inicial. Para ello se emplean los indicadores más habituales en la literatura técnico-económica: el Periodo de Retorno Simple (Payback Time), el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El Payback Time representa el número de años necesarios para recuperar la inversión mediante los ahorros generados. Se calcula como:

$$Payback\ Time = \frac{Inversión\ inicial\ (CAPEX)}{Ahorro\ neto\ anual} = \frac{108000}{16000} = 6,8\ años \quad [11]$$

Este resultado indica que la inversión inicial se recupera en un plazo inferior a siete años, lo cual puede considerarse altamente favorable en el sector hotelero, donde la vida útil de los equipos principales supera habitualmente los 20 años.

Más allá del Payback, resulta útil analizar la rentabilidad mediante el Valor Actual Neto (VAN). El VAN mide la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros (ahorros anuales) y la inversión inicial, aplicando una tasa de descuento que refleja el coste de capital. Considerando un horizonte de 20 años y una tasa de descuento conservadora del 4%, el VAN se calcula como:

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{16000}{(1 + 0,04)^t} - 108000 \quad [12]$$

El valor presente de una anualidad de 16.000€ durante 20 años al 4% es de aproximadamente 258.000€. Descontando la inversión inicial, se obtiene un VAN positivo de aproximadamente 150.000€, lo que confirma la conveniencia económica del proyecto.

Por último, la Tasa Interna de Retorno (TIR) indica la rentabilidad implícita de la inversión, es decir, la tasa de descuento que hace que el VAN sea nulo. En este caso, la TIR se sitúa en torno al 14–15%, lo que pone de manifiesto la solidez económica del proyecto y confirma que los ahorros previstos permiten recuperar con holgura la inversión inicial a lo largo de la vida útil de las instalaciones.

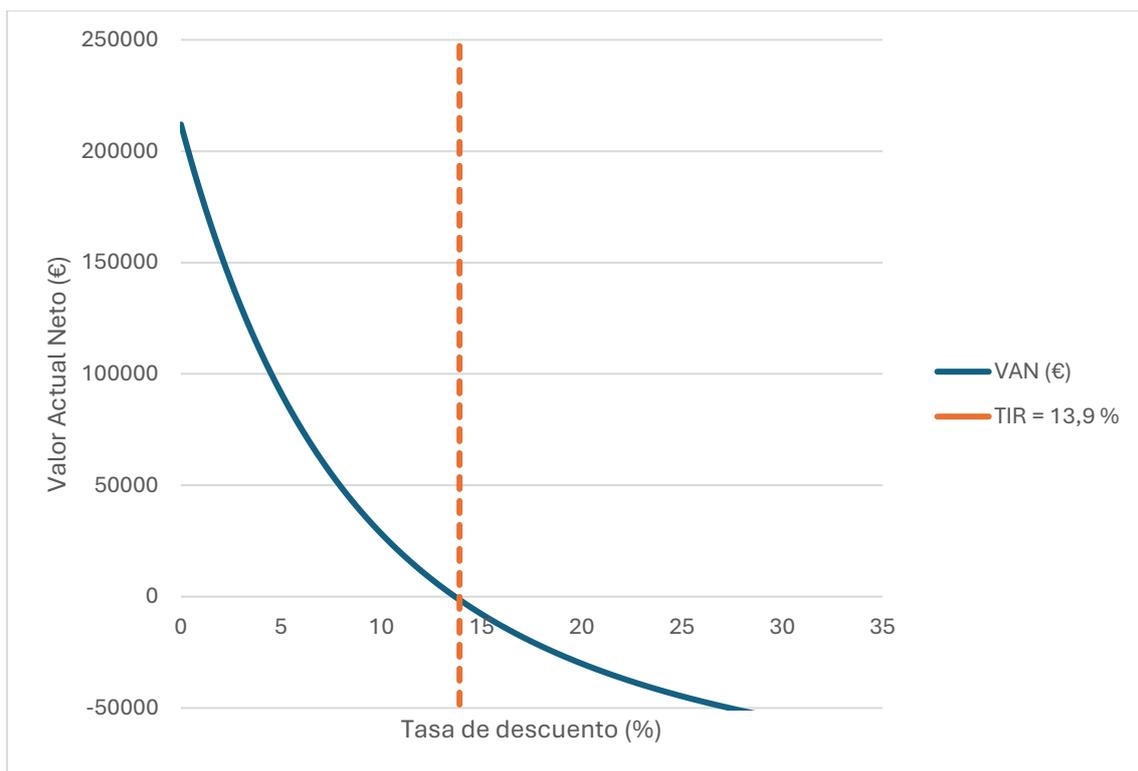


Ilustración 24. Relación entre el Valor Actual Neto (VAN) y la tasa de descuento. Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como conclusión, el análisis económico demuestra que la rehabilitación energética propuesta no solo es viable desde el punto de vista técnico y ambiental, sino también altamente rentable desde la perspectiva financiera. La inversión se recupera en un plazo reducido, y los beneficios acumulados a lo largo de la vida útil de las instalaciones

justifican sobradamente el esfuerzo inicial, situando al hotel en una posición ventajosa tanto en términos de eficiencia energética como de competitividad en el mercado.

11.5. Conclusiones

El análisis realizado demuestra que la rehabilitación energética propuesta para el edificio es no solo técnicamente viable, sino también económicamente rentable. Con una inversión estimada en torno a 108.000€, destinada exclusivamente a las instalaciones energéticas (climatización, ACS, ventilación y generación fotovoltaica), se obtienen ahorros netos anuales cercanos a 16.000€. Esto se traduce en un periodo de retorno simple de aproximadamente 7 años, acompañado de un VAN claramente positivo y una TIR elevada, lo que confirma la solidez del proyecto desde el punto de vista financiero.

Es importante subrayar que este análisis considera únicamente el coste de la rehabilitación energética y no incluye ni el precio de adquisición del inmueble ni las partidas correspondientes a la reforma arquitectónica integral (redistribución de plantas, construcción de baños, acabados interiores, mobiliario y equipamiento hotelero). En caso de incorporar dichos costes, sería necesario ampliar también la perspectiva económica, evaluando la explotación del edificio como hotel y las fuentes de ingresos que esta actividad generaría, de modo que la rentabilidad se midiera en el marco de un plan de negocio hotelero completo y no únicamente desde la óptica energética.

En definitiva, en el ámbito estrictamente energético, la intervención planteada asegura un retorno económico favorable y un impacto positivo a largo plazo en términos de sostenibilidad, eficiencia y competitividad.

12. Conclusiones

El presente Trabajo de Fin de Máster ha demostrado de forma integral que la rehabilitación energética de un edificio histórico es una tarea compleja pero alcanzable y, sobre todo, económicamente viable. El proyecto ha girado en torno a una casa señorial de 1886 en el centro histórico de Mahón, un edificio de 677 m² que, a pesar de su gran valor arquitectónico y su fachada bien conservada, llevaba sin habitar desde 1990 y presentaba evidentes signos de deterioro y serias deficiencias energéticas en su interior. La justificación de esta intervención integral se ha basado en la necesidad de transformar esta estructura en un hotel boutique exclusivo con 15 suites, demostrando que es posible conciliar la preservación del valioso patrimonio con la integración de soluciones tecnológicas avanzadas para la eficiencia energética.

A lo largo de la investigación, la selección de los sistemas técnicos se ha basado en un análisis detallado del contexto. Las particularidades del clima de Menorca, con inviernos suaves, veranos cálidos y una alta humedad relativa, han sido determinantes en cada una de las decisiones. Esta humedad, un factor crítico, justificó la elección de tecnologías que incluyeran una función activa de deshumidificación para evitar la aparición de condensaciones y moho. En este sentido, la aerotermia se presentó como la opción más adecuada, siendo particularmente eficiente en climas templados. La bomba de calor aire-agua Daikin EWYT085B-SLA1 se seleccionó como la solución centralizada para la climatización y el agua caliente sanitaria (ACS), destacando su alta eficiencia en estas condiciones. Para la ventilación, se optó por un sistema mecánico de doble flujo con recuperación entálpica, una tecnología esencial en un hotel para garantizar la calidad del aire interior, al tiempo que se reduce la carga térmica sobre el sistema de climatización. Este sistema, concentrado en una unidad central en la cubierta, permitió minimizar las intervenciones en la estructura patrimonial del edificio, respetando su esencia.

El trabajo ha demostrado también que el éxito del proyecto no solo recae en la elección de los sistemas activos, sino en una combinación inteligente de medidas. Se propusieron soluciones pasivas como la ventilación cruzada natural y la utilización de materiales como el revoco de cal para aprovechar la inercia térmica de los muros. Además, la instalación fotovoltaica en la cubierta ha resultado ser un pilar fundamental para la viabilidad económica. A partir de un escenario realista que contempla la ocupación del 70% de la

superficie útil, se ha proyectado la instalación de 24 paneles solares con una potencia total de 10,29 kWp, capaces de generar una producción anual estimada de 15,4 MWh. Esta solución permite al hotel generar gran parte de la energía que consume, reduciendo su dependencia de la red eléctrica.

El análisis económico ha confirmado que la inversión en la rehabilitación energética es una decisión sólida desde el punto de vista financiero. El coste total de la inversión para las instalaciones de climatización, ventilación, ACS y fotovoltaica se ha estimado en 108.000 €. El impacto de esta inversión se ha evaluado en los costes operativos y de mantenimiento anuales, que se han reducido drásticamente. Mientras que el gasto anual del hotel sin la reforma ascendía a 26.000 € (principalmente por climatización y ACS), con la intervención se espera que este se reduzca a tan solo 10.500 €. Esta diferencia, que se traduce en un ahorro neto anual de 15.500 €, permite que el periodo de retorno de la inversión se sitúe en un favorable 6,8 años. Es importante recalcar que este cálculo considera exclusivamente los costes y ahorros energéticos, sin incluir la inversión de la reforma arquitectónica integral del hotel, lo que subraya la rentabilidad intrínseca de la parte energética del proyecto.

Futuros trabajos

Las conclusiones de este trabajo abren varias vías para futuras investigaciones y desarrollos. Sería de gran valor profundizar en un análisis más detallado del impacto del cambio climático en el desempeño energético del edificio a largo plazo, evaluando cómo la evolución de las temperaturas y la humedad podría afectar a la demanda de climatización. También podría ser interesante considerando la fuerte inercia que está cogiendo actualmente la IA, la integración de un sistema de gestión energética avanzado (EMS) basado en inteligencia artificial, que permita optimizar en tiempo real el consumo y adaptar el funcionamiento de los equipos a las necesidades de los huéspedes. Por último, otra área de gran interés es el estudio de soluciones de almacenamiento de energía, como baterías o sistemas de almacenamiento térmico, para maximizar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica generada y reducir aún más la dependencia de la red eléctrica.

13. Bibliografía

- Abid, Muhammad, Neil Hewitt, Ming-Jun Huang, Christopher Wilson, y Donal Cotter. «Performance Analysis of the Developed Air Source Heat Pump System at Low-to-Medium and High Supply Temperatures for Irish Housing Stock Heat Load Applications». *Sustainability* 13, n.º 21 (2021): 21. <https://doi.org/10.3390/su132111753>.
- Ajuntament de Maó. «PGOU 2012 (Vigente en la actualidad)». Accedido 29 de junio de 2025. <https://www.ajmao.org/Contingut.aspx?idpub=8187>.
- Battista, Gabriele, Emanuele de Lieto Vollaro, Paweł Ocloń, y Roberto de Lieto Vollaro. «Retrofit Analysis of a Historical Building in an Architectural Constrained Area: A Case Study in Rome, Italy». *Applied Sciences* 12, n.º 23 (2022): 23. <https://doi.org/10.3390/app122312305>.
- Bienvenido-Huertas, David, Miguel León-Muñoz, Juan Jesús Martín-del-Río, y Carlos Rubio-Bellido. «Analysis of climate change impact on the preservation of heritage elements in historic buildings with a deficient indoor microclimate in warm regions». *Building and Environment* 200 (2021): 107959. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107959>.
- Blecich, Paolo, Marko Franković, y Živa Kristl. «Energy retrofit of the Krsan Castle: From sustainable to responsible design—A case study». *Energy and Buildings* 122 (junio de 2016): 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.011>.
- «BOE-A-2022-10297 Real Decreto 487/2022, de 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis.» Accedido 18 de agosto de 2025. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-10297>.
- «BOE.es - DOUE-L-2024-80664 Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).» Accedido 8 de marzo de 2025. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2024-80664>.
- Borralló-Jiménez, Milagrosa, María LópezDeAsiain, Paula M. Esquivias, y David Delgado-Trujillo. «Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain». *Energy and Buildings* 254 (2022): 111570. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111570>.
- Bottino-Leone, Dario, Marco Larcher, Franziska Haas, Daniel Herrera, y Alexandra Troi. «Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach». *Energy* 181 (mayo de 2019): 521-31. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.139>.
- CALORYFRIO, Idoia Arnabat. «Tablas de consumo en las instalaciones de agua caliente sanitaria - caloryfrio.com». 20 de mayo de 2020. <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/agua-caliente/consumo-instalaciones-calefaccion-acs.html>.
- Dang, Xinyuan, Evy Vereecken, Hans Janssen, y Staf Roels. «Hygrothermal response of masonry facades with vapour-tight or capillary-active internal insulation under current and future climate scenarios». *Built Heritage* 9, n.º 1 (2025): 23. <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00188-x>.
- Di Schio, Eugenia Rossi, Vincenzo Ballerini, y Paolo Valdiserri. «The Bin Method to Investigate the Effect of Climate Conditions on the SCOP of Air Source Heat

- Pumps: The Italian Case». *WSEAS TRANSACTIONS ON HEAT AND MASS TRANSFER* 17 (mayo de 2022): 124-30.
<https://doi.org/10.37394/232012.2022.17.13>.
- Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios, (refundición), (Texto pertinente a efectos del EEE), EP, CONSIL (2024).
<http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/spa>.
- EDP Blog. «Ayudas para placas solares en Baleares en 2025». 24 de agosto de 2025.
https://www.edpenergia.es/es/blog/ayudas-y-subsidios/placas-solares-en-las-islas-baleares/?utm_source=chatgpt.com.
- Elnagar, Essam, Simran Munde, y Vincent Lemort. «Energy Efficiency Measures Applied to Heritage Retrofit Buildings: A Simulated Student Housing Case Study in Vienna». *Heritage* 4, n.º 4 (2021): 4.
<https://doi.org/10.3390/heritage4040215>.
- Etemad, Alireza, Niloofar Zare, Ali Shafaat, y Ammar M. Bahman. «Assessing strategies for retrofitting cooling systems in historical buildings». *Energy Reports* 11 (2024): 1503-16. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.017>.
- Europa, Comisión, y Dirección General de Comunicación. *Pacto Verde Europeo : consecución de nuestros objetivos*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2021. <https://doi.org/doi/10.2775/948427>.
- European Commission, 2020. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A Renovation Wave for Europe - Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0662>.
- Feng, Zhang, Minyue Ge, y Qian Meng. «Enhancing energy efficiency in green buildings through artificial intelligence». *Applied Science and Engineering Journal for Advanced Research* 3, n.º 5 (2024): 10-17.
- Haehnlein, Stefanie, Peter Bayer, y Philipp Blum. «International legal status of the use of shallow geothermal energy». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, n.º 9 (2010): 2611-25. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.069>.
- Henderson, Hugh, y Bruce Harley. *Infiltration Guidance for Buildings at Design Conditions*. 2022.
- Hepbasli, Arif, y Yildiz Kalinci. «A review of heat pump water heating systems». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, n.º 6 (2009): 1211-29.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>.
- Hirvonen, Janne, y Kai Sirén. «High Latitude Solar Heating Using Photovoltaic Panels, Air-Source Heat Pumps and Borehole Thermal Energy Storage». enero de 2017, 1-10. <https://doi.org/10.18086/swc.2017.29.06>.
- «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». Accedido 30 de junio de 2025.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.
- Juarez Hernández, Josué. *Propuesta de rehabilitación de inmueble del siglo XVII en Hotel Boutique en el Centro histórico de la ciudad de Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, s. f.
- Karvounidi, Maria D, Alexandra P Alexandropoulou, y Andreas E Fousteris. «Towards Sustainable Hospitality: Enhancing Energy Efficiency in Hotels». *International Research Journal of Economics And Management Studies IRJEMS* 3, n.º 6 (2024).

- Kowalski, Piotr, Paweł Szałański, y Wojciech Cepiński. «Waste Heat Recovery by Air-to-Water Heat Pump from Exhausted Ventilating Air for Heating of Multi-Family Residential Buildings». *Energies* 14, n.º 23 (2021): 23. <https://doi.org/10.3390/en14237985>.
- Lee, Ki-Hoon, Minwoo Lee, y Nuwan Gunarathne. «Do green awards and certifications matter? Consumers' perceptions, green behavioral intentions, and economic implications for the hotel industry: A Sri Lankan perspective». *Tourism Economics* 25, n.º 4 (2019): 593-612. <https://doi.org/10.1177/1354816618810563>.
- Martín García, Estela. *Rehabilitación energética de un colegio existente y reducción de su huella de carbono*. 2025. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/65600>.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. «Hoja de Ruta del Autoconsumo». Accedido 23 de agosto de 2025. <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo.html>.
- Mota-Babiloni, Adrián, Joaquín Navarro-Esbrí, Pavel Makhnatch, y Francisco Molés. «Refrigerant R32 as lower GWP working fluid in residential air conditioning systems in Europe and the USA». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80 (diciembre de 2017): 1031-42. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.216>.
- Mouzeviris, Georgios A., y Konstantinos T. Papakostas. «Study on Air-to-Water Heat Pumps Seasonal Performances for Heating in Greece». *Energies* 15, n.º 1 (2022): 1. <https://doi.org/10.3390/en15010279>.
- Moya Villarreal, Andrés. *Proyecto de instalaciones, análisis energético y certificado de eficiencia energética de un hotel rural ubicado en Allepuz (Teruel)*. Universitat Politècnica de València, 17 de junio de 2024. <https://riunet.upv.es/handle/10251/205203>.
- Óltarzewska, Agata, y Dorota Anna Krawczyk. «Simulation and Performance Analysis of an Air-Source Heat Pump and Photovoltaic Panels Integrated with Service Building in Different Climate Zones of Poland». *Energies* 17, n.º 5 (2024): 5. <https://doi.org/10.3390/en17051182>.
- Onecha, Belén, y Alicia Dotor. «Simulation Method to Assess Thermal Comfort in Historical Buildings with High-Volume Interior Spaces—The Case of the Gothic Basilica of Sta. Maria Del Mar in Barcelona». *Sustainability* 13, n.º 5 (2021): 2980. <https://doi.org/10.3390/su13052980>.
- Panakaduwa, Chamara, Paul Coates, y Mustapha Munir. «Identifying sustainable retrofit challenges of historical Buildings: A systematic review». *Energy and Buildings* 313 (2024): 114226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114226>.
- Papallou, Erasmia, Martha Katafygiotou, y Thomas Dimopoulos. «Emerging Sustainability Trends in Tourist Facilities: A Comparative Assessment of Multiple Hotels and Resorts». *Sustainability* 16, n.º 9 (2024). <https://doi.org/10.3390/su16093536>.
- Pérez-Lombard, Luis, José Ortiz, y Christine Pout. «A review on buildings energy consumption information». *Energy and Buildings* 40, n.º 3 (2008): 394-98. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- Pierre, ERNOULD. *Revision of the Energy Performance of Buildings Directive*. s. f.
- Polo López, Cristina S., Floriana Troia, y Francesco Nocera. «Photovoltaic BIPV Systems and Architectural Heritage: New Balance between Conservation and Transformation. An Assessment Method for Heritage Values Compatibility and Energy Benefits of Interventions». *Sustainability* 13, n.º 9 (2021): 9. <https://doi.org/10.3390/su13095107>.

- «RGU Researchers to Explore Role of PV Systems on Historic Buildings | August 2025 | News | RGU». Accedido 21 de agosto de 2025.
<https://www.rgu.ac.uk/news/news-2025/8358-rgu-researchers-to-explore-role-of-pv-systems-on-historic-buildings>.
- Rieser, Alexander, Rainer Pfluger, Alexandra Troi, et al. «Integration of Energy-Efficient Ventilation Systems in Historic Buildings—Review and Proposal of a Systematic Intervention Approach». *Sustainability* 13 (febrero de 2021): 2325.
<https://doi.org/10.3390/su13042325>.
- Rodríguez, Carlos, Marta Jacob, y Carmen Florido. «Socioeconomic Profile of Tourists with a Greater Circular Attitude and Behaviour in Hotels of a Sun and Beach Destination». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, n.º 24 (2020). <https://doi.org/10.3390/ijerph17249392>.
- Sola Carrión, Manuel Jesús. *REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN HOTEL RURAL USANDO ENERGÍAS RENOVABLES: ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y ENERGÍA GEOTÉRMICA*. Jaén: Universidad de Jaén, 15 de mayo de 2023.
<https://hdl.handle.net/10953.1/19931>.
- Vieites, Esteban, Iana Vassileva, y Juan E. Arias. «European Initiatives Towards Improving the Energy Efficiency in Existing and Historic Buildings». *Energy Procedia* 75 (2015): 1679-85. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.418>.
- Vourdoubas, John. «Hotels with Net Zero Carbon Emissions in the Mediterranean Region: Are They Feasible?» *JOURNAL OF TOURISM AND HOSPITALITY MANAGEMENT* 6, n.º 2 (2018). <https://doi.org/10.15640/jthm.v6n2a6>.
- Wise, Freya, Derek Jones, y Alice Moncaster. «Reducing carbon from heritage buildings: the importance of residents' views, values and behaviours». *Journal of Architectural Conservation* 27, n.º 1-2 (2021): 117-46.
<https://doi.org/10.1080/13556207.2021.1933342>.
- Zhu, Xuwei, Jiying Liu, Xiangyuan Zhu, Xiaole Wang, Yanqiu Du, y Jikui Miao. «Experimental Study on Operating Characteristic of a Combined Radiant Floor and Fan Coil Cooling System in a High Humidity Environment». *Buildings* 12, n.º 4 (2022): 4. <https://doi.org/10.3390/buildings12040499>.

Anexo I

Cálculos completos de cargas por transmitancia:

| Plan ta | Estancia | S (m 2) | K (W/m 2K) | AT verano (°C) | AT invierno (°C) | S*K*AT (W) verano | S*K*AT (W) invierno |
|------------|--|---------------|------------------|-------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| P -1 | Sala de juegos | | | | | 0.00 | 428.84 |
| | Pared interior (4) | 58. 8 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 36. 81 | 2.33 | 0.0 | 5.0 | 0.00 | 428.84 |
| | Techo | 36. 81 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta (2) | 3.4 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Bodega | | | | | 0.00 | 175.17 |
| | Pared interior (4) | 37. 45 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 15. 04 | 2.33 | 0.0 | 5.0 | 0.00 | 175.17 |
| | Techo | 15. 04 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta (2) | 3.4 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Sala de máquinas / Trastero | | | | | 0.00 | 269.12 |
| | Pared interior (4) | 47. 33 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 23. 10 | 2.33 | 0.0 | 5.0 | 0.00 | 269.12 |
| | Techo | 23. 10 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta (2) | 3.4 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | TOTAL P -1 | | | | | 0.00 | 873.12 |
| P 0 | Suite 001 | | | | | 167.78 | 431.42 |
| | Pared interior (3) | 58. 6 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Pared exterior E | 9.6 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 140.45 | 361.15 |
| | Suelo | 23. 30 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 23. 30 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Habitación doble 002 | | | | | 182.41 | 469.04 |
| | Pared interior (3) | 43. 7 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Pared exterior E | 10. 6 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 155.08 | 398.77 |

| | | | | | | | |
|-----|-----------------------------|-------|------|-----|------|---------------|----------------|
| | Suelo | 15.06 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 15.06 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Recepción | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | Pared interior (4) | 16.9 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 8.40 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 8.40 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta (2) | 3.4 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Comedor | | | | | 140.03 | 360.09 |
| | Pared exterior O | 7.12 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 104.17 | 267.85 |
| | Pared interior (3) | 48.47 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 18.30 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 18.30 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 2.10 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 35.87 | 92.23 |
| | Puerta (3) | 5.1 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Cocina | | | | | 166.93 | 429.24 |
| | Pared exterior N | 11.41 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 166.93 | 429.24 |
| | Pared interior (3) | 38.02 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 14.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 14.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta (3) | 5.1 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Aseo | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | Pared interior (4) | 27.93 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suelo | 5.45 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 5.45 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | TOTAL P 0 | | | | | 657.14 | 1689.80 |
| | Habitación doble 003 | | | | | 145.54 | 374.24 |
| P 1 | Pared exterior E | 8.08 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 118.21 | 303.97 |

| | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|------|-----|------|---------------|---------------|
| Pared interior (3) | 62. 72 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| Suelo | 21. 60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Techo | 21. 60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Habitación doble 004 | | | | | 145.54 | 374.24 |
| Pared exterior E | 8.0 8 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 118.21 | 303.97 |
| Pared interior (3) | 62. 72 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| Suelo | 21. 60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Techo | 21. 60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Suite 005 | | | | | 162.22 | 417.13 |
| Pared exterior E | 9.2 2 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 134.89 | 346.86 |
| Pared interior (3) | 62. 65 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| Suelo | 23. 76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Techo | 23. 76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Suite 006 | | | | | 152.41 | 391.92 |
| Pared exterior O | 8.5 5 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 125.09 | 321.65 |
| Pared interior (3) | 74. 17 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| Suelo | 23. 76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Techo | 23. 76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Suite 007 | | | | | 186.21 | 478.83 |
| Pared exterior N | 10. 86 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 158.88 | 408.55 |
| Pared interior (3) | 70. 48 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| Suelo | 23. 05 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------|------|-----|------|---------------|----------------|
| | Techo | 23.05 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | TOTAL P 1 | | | | | 791.92 | 2036.36 |
| | Habitación doble 008 | | | | | 145.54 | 374.24 |
| | Pared exterior E | 8.08 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 118.21 | 303.97 |
| | Pared interior (3) | 62.72 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 21.60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 21.60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Habitación doble 009 | | | | | 145.54 | 374.24 |
| | Pared exterior E | 8.08 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 118.21 | 303.97 |
| | Pared interior (3) | 62.72 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 21.60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 21.60 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| P 2 | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suite 010 | | | | | 162.22 | 417.13 |
| | Pared exterior E | 9.22 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 134.89 | 346.86 |
| | Pared interior (3) | 62.65 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 23.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 23.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suite 011 | | | | | 152.41 | 391.92 |
| | Pared exterior O | 8.55 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 125.09 | 321.65 |
| | Pared interior (3) | 74.17 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 23.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 23.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

| | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|-------|------|------|---------------|----------------|----------------|
| | Suite 012 | | | | 186.21 | 478.83 | |
| | Pared exterior N | 10.86 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 158.88 | 408.55 |
| | Pared interior (3) | 70.48 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 23.05 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 23.05 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | TOTAL P 2 | | | | | 791.92 | 2036.36 |
| | Suite 013 | | | | | 826.55 | 1413.62 |
| | Pared exterior N | 9.22 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 134.89 | 346.86 |
| | Pared interior (3) | 62.65 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| | Suelo | 23.76 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 23.76 | 2.33 | 12.0 | 18.0 | 664.33 | 996.49 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Habitación doble 014 | | | | | 704.07 | 1219.40 |
| | Pared exterior O | 8.55 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 125.09 | 321.65 |
| | Pared interior (3) | 46.28 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana | 1.6 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 27.33 | 70.27 |
| P 3 | Suelo | 19.73 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 19.73 | 2.33 | 12.0 | 18.0 | 551.65 | 827.48 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Suite presidencial 015 | | | | | 1184.35 | 2097.63 |
| | Pared exterior E | 13.13 | 2.09 | 7.0 | 18.0 | 192.09 | 493.95 |
| | Pared interior (3) | 57.63 | 2.91 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Ventana (3) | 6.3 | 2.44 | 7.0 | 18.0 | 107.60 | 276.70 |
| | Suelo | 31.64 | 2.33 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | Techo | 31.64 | 2.33 | 12.0 | 18.0 | 884.65 | 1326.98 |
| | Puerta | 1.7 | 4.07 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| | TOTAL P 3 | | | | | 2714.96 | 4730.65 |

Anexo II

Catálogos de los elementos seleccionados:

Tabla de especificaciones técnicas EWYT-B-SL

| | | | | EWYT085B-SLA1 | EWYT105B-SLA1 | EWYT135B-SLA1 |
|---------------------------------|--|---------------|------|---|---|---|
| Nivel de presión sonora | Refrigeración | Nom. | dB | 65 | 67 | 69 |
| Compresor | Tipo | | | Compresor scroll | Compresor scroll | Compresor scroll |
| | Método de arranque_ | | | Directo en línea | Directo en línea | Directo en línea |
| | Cantidad_ | | | 2 | 2 | 2 |
| Peso | Peso operativo | | kg | 992 | 1,102 | 1,202 |
| | Unidad | | kg | 985 | 1,095 | 1,195 |
| Intercambiador de calor de aire | Tipo | | | Tipo tubo y aleta de alta eficiencia | Tipo tubo y aleta de alta eficiencia | Tipo tubo y aleta de alta eficiencia |
| EER | | | | 2.69 | 2.68 | 2.7 |
| Refrigerante | Tipo | | | R-32 | R-32 | R-32 |
| | Circuitos | Cantidad | | 1 | 1 | 1 |
| | Charge | | kg | 12.7 | 15.8 | 18.5 |
| Motor del ventilador | Transmisión | | | Transmisión con variación de frecuencia | Transmisión con variación de frecuencia | Transmisión con variación de frecuencia |
| Capacidad de refrigeración | Nom. | | kW | 75 | 98 | 120 |
| IPLV | | | | 4.43 | 4.4 | 4.32 |
| Conexiones de tubería | Entrada/salida de agua del evaporador (D.E.) | | | 88.9 | 88.9 | 88.9 |
| SEER | | | | 3.9 | 3.98 | 3.9 |
| Consumo | Refrigeración | Nom. | kW | 28 | 36.6 | 44.6 |
| Nivel de potencia sonora | Refrigeración | Nom. | dB | 83 | 85 | 87 |
| Dimensiones | Unidad | Anchura | mm | 1,195 | 1,195 | 1,195 |
| | | Profundidad | mm | 2,225 | 2,825 | 3,425 |
| | | Altura | mm | 1,800 | 1,800 | 1,800 |
| Control de capacidad | Capacidad mínima | | % | 50 | 38 | 50 |
| | Método | | | Etapa | Etapa | Etapa |
| Carcasa | Material | | | Lámina de acero galvanizado pintada | Lámina de acero galvanizado pintada | Lámina de acero galvanizado pintada |
| | Colour | | | Blanco marfil | Blanco marfil | Blanco marfil |
| Ventilador | Type | | | Helicoidal directo | Helicoidal directo | Helicoidal directo |
| | Cantidad | | | 4 | 6 | 8 |
| Power supply | Phase | | | 3~ | 3~ | 3~ |
| | Límites de tensión | Máx. | % | 10 | 10 | 10 |
| | | Mín. | % | -10 | -10 | -10 |
| | Frecuencia | | | Hz | 50 | 50 |
| | Tensión | | | V | 400 | 400 |
| Unidad | Corriente de la unidad máx. para el tamaño de los cables | | | A | 75.0 | 94.0 |
| | Corriente de arranque | | Máx. | A | 211.0 | 327.0 |
| | Corriente de func. | Refrigeración | Nom. | A | 54.0 | 66.0 |
| | | | Máx. | A | 68.0 | 85.0 |

Comenzar encuesta

| | | | |
|-------|--|--|--|
| Notas | (1) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en refrigeración y el valor EER) se basan en las siguientes condiciones: 12,0/7,0°C; ambiente 35,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 | (1) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en refrigeración y el valor EER) se basan en las siguientes condiciones: 12,0/7,0°C; ambiente 35,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 | (1) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en refrigeración y el valor EER) se basan en las siguientes condiciones: 12,0/7,0°C; ambiente 35,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 |
| | (2) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en calefacción y el valor COP) se basan en las siguientes condiciones: 40,0/45,0°C; ambiente 7,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 | (2) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en calefacción y el valor COP) se basan en las siguientes condiciones: 40,0/45,0°C; ambiente 7,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 | (2) - Todos los rendimientos (la capacidad de refrigeración, el consumo de la unidad en calefacción y el valor COP) se basan en las siguientes condiciones: 40,0/45,0°C; ambiente 7,0°C, unidad funcionando a plena carga; líquido de funcionamiento: Agua; factor de incrustaciones = 0 EN14511:2018 |
| | (3) - El valor de SCOP se basa en las siguientes condiciones: Tbivalent -5 °C, Tdesign -10 °C, condiciones ambientales medias, Ref. EN14825. De acuerdo con la norma EN14825, la temperatura baja de confort, el clima medio, y los valores SEER y μ s se aplican a la normativa sobre diseño ecológico: (UE) N.º 2016/2281; | (3) - El valor de SCOP se basa en las siguientes condiciones: Tbivalent -5 °C, Tdesign -10 °C, condiciones ambientales medias, Ref. EN14825. De acuerdo con la norma EN14825, la temperatura baja de confort, el clima medio, y los valores SEER y μ s se aplican a la normativa sobre diseño ecológico: (UE) N.º 2016/2281; | (3) - El valor de SCOP se basa en las siguientes condiciones: Tbivalent -5 °C, Tdesign -10 °C, condiciones ambientales medias, Ref. EN14825. De acuerdo con la norma EN14825, la temperatura baja de confort, el clima medio, y los valores SEER y μ s se aplican a la normativa sobre diseño ecológico: (UE) N.º 2016/2281; |
| | (4) - PHE: Intercambiador de calor de placas; S&T: Tubular de carcasa de paso simple; MCH: Microcanal; DPT: Tipo de transmisión directa; DOL: Directo en línea; VFD: Inverter | (4) - PHE: Intercambiador de calor de placas; S&T: Tubular de carcasa de paso simple; MCH: Microcanal; DPT: Tipo de transmisión directa; DOL: Directo en línea; VFD: Inverter | (4) - PHE: Intercambiador de calor de placas; S&T: Tubular de carcasa de paso simple; MCH: Microcanal; DPT: Tipo de transmisión directa; DOL: Directo en línea; VFD: Inverter |
| | (5) - Pot.sonora(evap.12/7°C,amb.35°C func. a plena carga)conforme a ISO9614 y Eurovent8/1. La certificación solo hace referencia a la pot.sonora total, a pres.sonora se calcula a partir del nivel de pot.sonora y se utiliza solo como ref.,por lo que no es vinculante | (5) - Pot.sonora(evap.12/7°C,amb.35°C func. a plena carga)conforme a ISO9614 y Eurovent8/1. La certificación solo hace referencia a la pot.sonora total, a pres.sonora se calcula a partir del nivel de pot.sonora y se utiliza solo como ref.,por lo que no es vinculante | (5) - Pot.sonora(evap.12/7°C,amb.35°C func. a plena carga)conforme a ISO9614 y Eurovent8/1. La certificación solo hace referencia a la pot.sonora total, a pres.sonora se calcula a partir del nivel de pot.sonora y se utiliza solo como ref.,por lo que no es vinculante |
| | (6) - La capacidad mínima indicada hace referencia a una unidad funcionando en condiciones estándar de Eurovent | (6) - La capacidad mínima indicada hace referencia a una unidad funcionando en condiciones estándar de Eurovent | (6) - La capacidad mínima indicada hace referencia a una unidad funcionando en condiciones estándar de Eurovent |
| | (7) - Las dimensiones y los pesos solo sirven como referencia y no se consideran vinculantes. Antes de diseñar la instalación, consulte los planos oficiales disponibles de fábrica previa petición. | (7) - Las dimensiones y los pesos solo sirven como referencia y no se consideran vinculantes. Antes de diseñar la instalación, consulte los planos oficiales disponibles de fábrica previa petición. | (7) - Las dimensiones y los pesos solo sirven como referencia y no se consideran vinculantes. Antes de diseñar la instalación, consulte los planos oficiales disponibles de fábrica previa petición. |
| | (8) - Los datos hacen referencia a la unidad sin opciones adicionales. | (8) - Los datos hacen referencia a la unidad sin opciones adicionales. | (8) - Los datos hacen referencia a la unidad sin opciones adicionales. |
| | (9) - Los valores de caída de presión solo hacen referencia a las caídas de presión del intercambiador de calor de agua. | (9) - Los valores de caída de presión solo hacen referencia a las caídas de presión del intercambiador de calor de agua. | (9) - Los valores de caída de presión solo hacen referencia a las caídas de presión del intercambiador de calor de agua. |
| | (10) - Líquido: Agua | (10) - Líquido: Agua | (10) - Líquido: Agua |
| | (11) - Tolerancia de tensión admitida \pm 10%. El desequilibrio entre fases debe estar comprendido entre \pm 3%. | (11) - Tolerancia de tensión admitida \pm 10%. El desequilibrio entre fases debe estar comprendido entre \pm 3%. | (11) - Tolerancia de tensión admitida \pm 10%. El desequilibrio entre fases debe estar comprendido entre \pm 3%. |

| | | | |
|--|---|---|---|
| | (12) - Corriente de arranque máxima: En el caso de unidades con control Inverter, no se experimenta corriente de entrada durante el arranque. | (12) - Corriente de arranque máxima: En el caso de unidades con control Inverter, no se experimenta corriente de entrada durante el arranque. | (12) - Corriente de arranque máxima: En el caso de unidad con control Inverter, no se experimenta corriente de entrada durante el arranque. |
| | (13) - Corriente nominal en el modo de refrigeración en las condiciones siguientes: Intercambiador de calor del lado del agua 12/7°C; ambiente 35°C; corriente de compresor + ventiladores | (13) - Corriente nominal en el modo de refrigeración en las condiciones siguientes: Intercambiador de calor del lado del agua 12/7°C; ambiente 35°C; corriente de compresor + ventiladores | (13) - Corriente nominal en el modo de refrigeración en las condiciones siguientes: Intercambiador de calor del lado del agua 12/7°C; ambiente 35°C; corriente de compresor + ventiladores |
| | (14) - La corriente máxima de funcionamiento se basa en la máxima corriente de compresor absorbida en su envolvente y la máxima corriente absorbida de los ventiladores. | (14) - La corriente máxima de funcionamiento se basa en la máxima corriente de compresor absorbida en su envolvente y la máxima corriente absorbida de los ventiladores. | (14) - La corriente máxima de funcionamiento se basa en la máxima corriente de compresor absorbida en su envolvente y la máxima corriente absorbida de los ventiladores. |
| | (15) - La máxima corriente de unidad para dimensionado de cables se basa en la tensión mínima permitida. | (15) - La máxima corriente de unidad para dimensionado de cables se basa en la tensión mínima permitida. | (15) - La máxima corriente de unidad para dimensionado de cables se basa en la tensión mínima permitida. |
| | (16) - Corriente máxima para el tamaño de los cables: (amperios a plena carga de los compresores + corriente de los ventiladores) x 1,1 | (16) - Corriente máxima para el tamaño de los cables: (amperios a plena carga de los compresores + corriente de los ventiladores) x 1,1 | (16) - Corriente máxima para el tamaño de los cables: (amperios a plena carga de los compresores + corriente de los ventiladores) x 1,1 |
| | (17) - Para los datos eléctricos del kit hidrónico, consulte la sección de datos técnicos de los accesorios del libro de datos | (17) - Para los datos eléctricos del kit hidrónico, consulte la sección de datos técnicos de los accesorios del libro de datos | (17) - Para los datos eléctricos del kit hidrónico, consulte la sección de datos técnicos de los accesorios del libro de datos |
| | (18) - Todos los datos están sujetos a cambios sin previo aviso. Consulte los datos de la placa de identificación de la unidad. | (18) - Todos los datos están sujetos a cambios sin previo aviso. Consulte los datos de la placa de identificación de la unidad. | (18) - Todos los datos están sujetos a cambios sin previo aviso. Consulte los datos de la placa de identificación de la unidad. |

SupraBox 2000 H



SupraBox
COMFORT

Standard equipment:

- frameless housing with 60 mm insulation
- coil coated inside and out (RAL 7035)
- conforms to VDI 6022
- integrated control (Plug & Play)
- horizontal connections
- energy efficient EC-fans
- high efficiency heat recovery
- 2 service doors; bypass
- interior installation

Technische Daten: SupraBox 2000 H

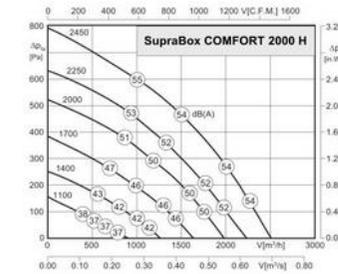
| | |
|---|--|
| Article No. (please note the connection side supply air connections LEFT/RIGHT!) | SB200HGLIB00 (LEFT) ; SB200HGRIB00 (RIGHT) |
| Weather-Proof Model (please note the connection side supply air connections LEFT/RIGHT!) | SB200HGLWB00 (LEFT) ; SB200HGRWB00 (RIGHT) |
| Dimensions (L x H x T) | 1800 x 1660 x 760 mm incl. controller box and adjustable feet |
| Operating Point Air flow volume V_{ext} ext. pressure increase | 2.000 m ³ /h 250 Pa |
| Fans Voltage Max. power consumption RPM Wattage SFP-class | Free running impeller with backward curved blades, driven by high efficiency EC-external rotor motors with integrated electronics 230 V / 50 Hz 10 A 2450 min ⁻¹ 2 x 800 W SFP 3 |
| Heat Recovery Efficiency Rating [%] | Cross-flow plate heat exchanger up to 92% *, corresponding to heat recovery class H1 * = maximum value at condensation; efficiency rating is dependent upon operating condition |
| Air Filter | Panel filter with plastic frame; Supply air: F7 / Exhaust air: M5 (formerly F5) 592 x 592 x 96 mm |
| Air Connections Diameter Duct Air Speed | horizontal ø 400 4,4 m/s |
| Controller | Supply air / Exhaust Air / Room temperature control, Fans steplessly adjustable, Bypass function modulating 0-10V |
| Bypass | Counter flow control damper, control damper through bypass and through heat recovery |
| Weight incl. controller | 377 kg |
| Max. air flow temperature | 40°C (higher air flow temperature available upon request) |

10



SupraBox 2000 H

Air performance:



Sound power level:

The sound data represented in the air performance table is the A-weighted apparent sound power level of the housing L_{WA2} in dB(A).

Pressure side apparent sound power level $L_{WA5} = L_{WA2} + 2$ dB
Discharge side apparent sound power level $L_{WA6} = L_{WA2} + 25$ dB

Calculation:

L_{WA5} per Octave: $L_{WA5}(Oct) = L_{WA5} + \text{correction value (table row } L_{WA5})$

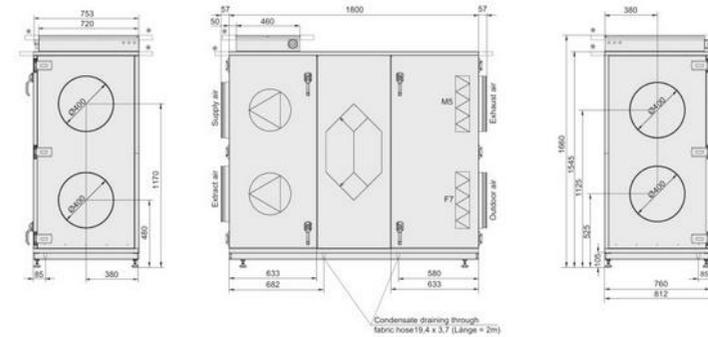
L_{WA6} per Octave: $L_{WA6}(Oct) = L_{WA6} + \text{correction value (table row } L_{WA6})$

| Korrekturwerte: ΔL _{cor} [dB] | f _M [Hz] | | | | | |
|---|---------------------|-----|-----|----|-----|-----|
| | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K |
| L_{WA5} [dB(A)] Pressure side (Outdoor air / Exhaust air) | -15 | -9 | -4 | -5 | -9 | -20 |
| L_{WA6} [dB(A)] Discharge side (Supply air / Extract air) | -22 | -13 | -11 | -5 | -4 | -9 |
| L_{WA2} [dB(A)] Noise radiation from the housing | -5 | -7 | -8 | -9 | -10 | -12 |

Note: a detailed calculation example can be found on page 40.

Dimensions:

All dimensions are in mm. The model in the drawing is shown with supply air connections LEFT. The model with supply air connections RIGHT is vertically mirrored. * Weather protection roof – only in the weather protected model. The weather protection roof protrudes 100 mm all the way around.



Accessories:

| | | | | | |
|--|---|---------|--|---|---------|
| | Flexible Duct (Set of 4) | Page 29 | | Electronic Preheat Coil | Page 33 |
| | Shut-Off Damper (manual / motor driven) | Page 30 | | Hot Water Pump Reheat Coil | Page 33 |
| | Duct Silencer | Page 29 | | Cold Water Pump Aftercooler | Page 33 |
| | Electric Reheating Coil | Page 31 | | Additional electronic accessories (Temperature sensor, CO ₂ sensor etc.) | Page 28 |

11

Silk[®] Nova Duetto



n-type

TECHNOLOGY
INSIDE

590 W 22,84 %

Potencia máxima

Máxima eficiencia

PRINCIPALES VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS



Potencia de 565 a 590 Watt



144 celdas M10 n-type
bifaciales half-cut



Marco de plata y vidrio
trasero con rejilla blanca



Ideal para trackers de un solo eje



Estabilidad mejorada a largo plazo



2278 x 1134 x 30 mm

30 años de garantía del producto solo para Instaladores Certificados FuturaSun:

Garantía de rendimiento

- Garantía de rendimiento de **30 años** con disminución de potencia máxima a partir del 1º año **0,4%/año**
- **99%** al final del primer año
- **92%** al final del 20º año
- **87%** al final del 30º año

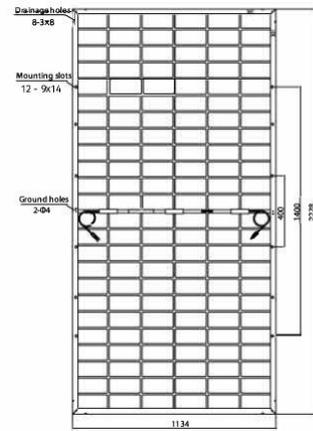
Garantías de producto

- **30 años de garantía del producto**
- **Seguro de responsabilidad civil** por productos defectuosos
- Todos los módulos de FuturaSun están diseñados y garantizados por la sede **italiana**

*Todas las imágenes mostradas son solo para fines ilustrativos y la apariencia del producto pueden variar según la instalación, la luz y el reflejo ambiental.

Características técnicas

| | |
|--|---|
| Dimensiones | 2278 x 1134 x 30 mm |
| Peso | 32 kg |
| Vidrio | Delantero - Cristal solar de 2,0 mm con ARC Trasero - Cristal solar de 2,0 mm con rejilla blanca |
| Celdas | 144 celdas bifaciales monocristalinas n-type half-cut 182 x 91 mm |
| Marco | Aluminio anodizado con agujeros de fijación y de drenaje |
| Caja de conexiones | Certificada según la IEC 62790, IP 68, 3 diodos de bypass |
| Cables y conectores | Cable solar, largo 1400 mm o personalizado ensamblado con conectores compatibles de 4 mm ² |
| Vidrio trasero | Transparente - rejilla negra |
| Corriente inversa máxima (I _r) | 30 A |
| Tensión máxima del sistema | 1500 V |
| Carga máxima (nieve) | Carga de diseño: 3600 Pa, (5400 Pa factor de seguridad 1,5 incluido) |
| Carga máxima (viento) | Carga de diseño: 1600 Pa, (2400 Pa factor de seguridad 1,5 incluido) |



| Características eléctricas | | FU 565 MV | | FU 570 MV | | FU 575 MV | | FU 580 MV | | FU 585 MV | | FU 590 MV | |
|--|---|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| CONDICIONES DE PRUEBA | | STC* | BSTC** |
| Potencia del módulo (P _{max}) | W | 565 | 625,84 | 570 | 631,86 | 575 | 637,07 | 580 | 642,72 | 585 | 648,26 | 590 | 653,80 |
| Tensión de circuito abierto (V _{oc}) | V | 50,58 | 50,58 | 50,72 | 50,72 | 50,86 | 50,86 | 51,00 | 51,00 | 51,14 | 51,14 | 51,28 | 51,28 |
| Corriente de cortocircuito (I _{sc}) | A | 14,24 | 15,77 | 14,32 | 15,86 | 14,40 | 15,95 | 14,48 | 16,04 | 14,56 | 16,13 | 14,64 | 16,22 |
| Tensión de máxima potencia (V _{mpp}) | V | 41,89 | 41,89 | 42,04 | 42,04 | 42,19 | 42,19 | 42,34 | 42,34 | 42,50 | 42,50 | 42,65 | 42,65 |
| Corriente de máxima potencia (I _{mpp}) | A | 13,49 | 14,94 | 13,56 | 15,03 | 13,63 | 15,10 | 13,70 | 15,18 | 13,77 | 15,26 | 13,84 | 15,34 |
| Eficiencia del módulo | % | 21,80 | 24,20 | 22,00 | 24,5 | 22,20 | 24,70 | 22,40 | 24,90 | 22,65 | 25,18 | 22,84 | 25,39 |
| Tolerancia de clasificación | W | 0/+5 | | | | | | | | | | | |

| Características eléctricas - NOCT*** | | FU 565 MV | | FU 570 MV | | FU 575 MV | | FU 580 MV | | FU 585 MV | | FU 590 MV | |
|--|---|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|--|
| Potencia del módulo (P _{max}) | W | 425 | | 429 | | 433 | | 436 | | 439,76 | | 443,52 | |
| Tensión de circuito abierto (V _{oc}) | V | 48,05 | | 48,19 | | 48,31 | | 48,45 | | 48,58 | | 48,72 | |
| Corriente de cortocircuito (I _{sc}) | A | 11,50 | | 11,50 | | 11,63 | | 11,69 | | 11,75 | | 11,82 | |
| Tensión de máxima potencia (V _{mpp}) | V | 39,37 | | 39,50 | | 39,59 | | 39,68 | | 39,83 | | 39,97 | |
| Corriente de máxima potencia (I _{mpp}) | A | 10,80 | | 10,86 | | 10,93 | | 11,00 | | 11,06 | | 11,11 | |

Características operativas

| | | |
|--|--------|--------------|
| Coefficiente de temperatura I _{sc} | % / °C | 0,045 |
| Coefficiente de temperatura V _{oc} | % / °C | -0,25 |
| Coefficiente de temperatura P _{max} | % / °C | -0,29 |
| NOCT** | °C | 45 ± 2 |
| Temperatura de funcionamiento | °C | de -40 a +85 |

Certificaciones

| | |
|----------|--|
| Fábrica | ISO 9001 - 14001 - 45001 |
| Producto | IEC EN 61215, IEC EN 61730, IEC 61730/UL790 Fire rating class A |

Embalaje

| | |
|-------------------|---------------------|
| Cantidad / palé | 36 pzas |
| Contenedor 40' HC | 720 pzas / 20 palés |

La información contenida en la ficha técnica del módulo puede variar sin aviso y se facilita solamente para fines informativos. Ningún derecho contractual se establece o tiene que ser deducido por la confianza del usuario en la información contenida en esta ficha técnica. Hay que consultar la guía del módulo adecuada para el usuario y al documento de las especificaciones técnicas del producto para detalles técnicos más detallados relativos al rendimiento, a la instalación y al uso del módulo.

*Standard Test Conditions STC: 1000 W/m² - AM 1.5 - 25 °C - tolerance P_{max} (+3%) - V_{oc} (+4%) - I_{sc} (+5%)
 **Bifacial Standard Test Conditions (BSTC): Front side irradiation 1000 Wp / sqm Back side reflection irradiation 135 Wp / sqm Ambient temperature 25 °C
 ***Nominal Operating Cell Temperature NOCT: 800 W/m² - T=45 °C - AM 1.5

ES_00



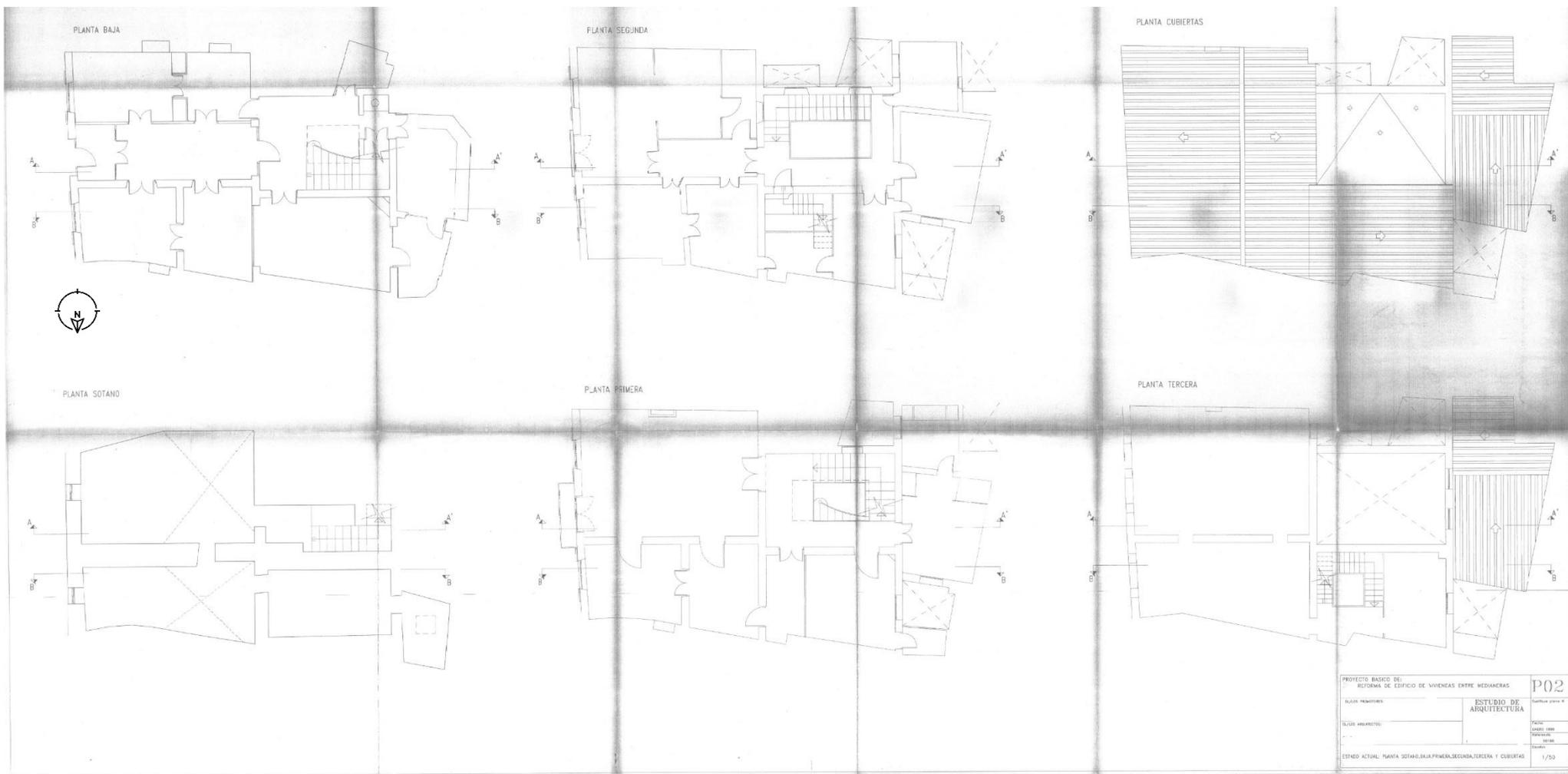
Riva del Pasubio 14, 35013 Cittadella, PD, Italia
 +39 049 5979802 | info@furasun.it | furasun.com

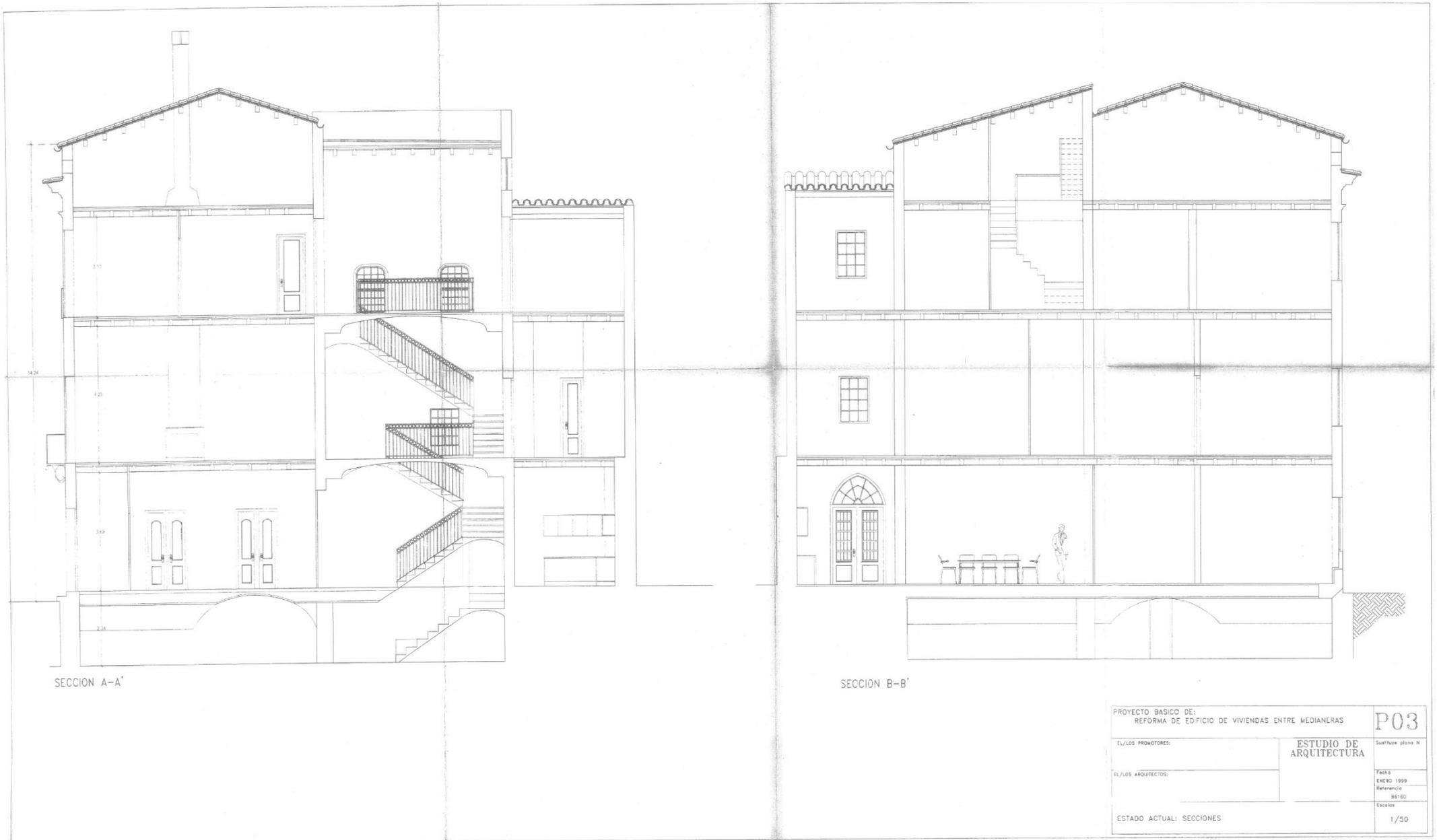


Para obtener información detallada, consulte el [manual de instalación](#)

Anexo III

Planos de la vivienda





SECCION A-A'

SECCION B-B'

| | | |
|--|----------------------------|---|
| PROYECTO BASICO DE: REFORMA DE EDIFICIO DE VIVIENDAS ENTRE MEDIANERAS | | P03 |
| EL/LOS PROMOTORES: | ESTUDIO DE ARQUITECTURA | Sección plano N. |
| EL/LOS ARQUITECTOS: | | Fecha: ENERO 1999 Referencia: 98180 Escala: 1/50 |
| ESTADO ACTUAL: SECCIONES | | |

