



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FINAL DE GRADO

**ADECUACIÓN ENERGÉTICA DEL PALACIO DE LOS
CONDES DE GAMAZO**

Autor: José Luis Navarro Luccardi

Director: Antonio García y Garmendia

Madrid, 2025

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

Adecuación Energética del Palacio de los Condes de Gamazo

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024/2025 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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

Fdo.:

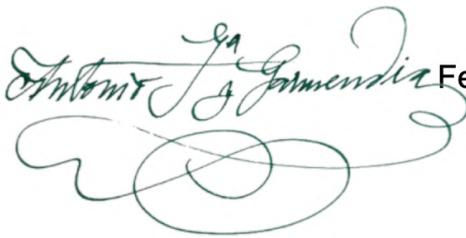


Fecha: 15/07/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:



Fecha: 15/07/2025



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FINAL DE GRADO

**ADECUACIÓN ENERGÉTICA DEL PALACIO DE LOS
CONDES DE GAMAZO**

Autor: José Luis Navarro Luccardi

Director: Antonio García y Garmendia

Madrid, 2025

ADECUACIÓN ENERGÉTICA DEL PALACIO DE LOS CONDES DE GAMAZO

Autor: Navarro Luccardi, José Luis.

Director: García y Garmendia, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo Final de Grado desarrolla una propuesta de rehabilitación energética del Palacio de los Condes de Gamazo, edificio histórico ubicado en Boecillo (Valladolid), combinando soluciones técnicas de alta eficiencia con una estrategia empresarial que garantice su viabilidad económica. Mediante soluciones innovadoras, no invasivas y respetuosas con el patrimonio arquitectónico del edificio, se logra reducir en un 50 % su demanda energética anual, y cubrir el 46 % de esta con instalación de energía solar fotovoltaica. Además, con el modelo de negocio propuesto no se recupera la inversión en tan solo 6 años, sino que se alcanza una rentabilidad superior al 17 % de TIR. El proyecto demuestra que es posible combinar sostenibilidad y rentabilidad económica, con la conservación del legado histórico a largo plazo, con una propuesta técnica realista y replicable.

Palabras clave: eficiencia, patrimonio, rehabilitación, fotovoltaica, aerotermia.

1. INTRODUCCIÓN

El Palacio de los Condes de Gamazo, construido a finales del siglo XIX, no solo representa un activo arquitectónico de alto valor patrimonial, sino también una oportunidad para desarrollar soluciones de eficiencia energética adecuadas para construcciones protegidas de este tipo. Este trabajo parte de una inspección técnica y energética detallada del edificio, y propone una serie de mejoras en términos de eficiencia energética que se adaptan a las restricciones patrimoniales: iluminación LED, aislamiento térmico, sustitución de caldera de gasoil por aerotermia, e instalación solar fotovoltaica.

Para demostrar la viabilidad económica de todo ello, se proyecta un modelo de negocio balanceado y coherente con los espacios del Palacio y su identidad, que busca explotar el Palacio a través de celebraciones importantes, eventos corporativos y espacios de trabajo, permitiendo así amortizar la inversión.

2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se estructura en cuatro pilares principales:

- **Diagnóstico técnico y energético del edificio**, mediante inspección in situ, referencias climáticas, y estimaciones de demanda térmica y eléctrica.
- **Propuesta de soluciones de eficiencia energética**, todas ellas buscan mejorar el rendimiento del edificio con el mínimo impacto estructural y estético.
- **Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica**, respetando tanto la apariencia histórica del Palacio, como las limitaciones legales del autoconsumo.
- **Evaluación económica integral**, incluyendo la inversión total, una evaluación del ahorro energético, una propuesta de modelo de negocio, e indicadores económicos (payback, VAN y TIR).

3. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

El proyecto combina numerosas herramientas y fuentes de información verificadas: desde Excel para el análisis térmico de la envolvente, hasta bases de datos meteorológicas para simulación solar (PVGIS), generadores de precios para labores de rehabilitación en España (CYPE), y páginas líderes como Idealista.com o Bodas.net para el benchmarking de precios de mercado del sector.

4. RESULTADOS

Resultados técnicos:

- Reducción total de la demanda energética anual: **50 %**.
- Generación fotovoltaica: **148 MWh/año** (46 % de cobertura).
- Ahorro estimado en emisiones: **35 toneladas de CO₂** anuales.

Resultados económicos:

- Inversión inicial estimada: **311.000 €**.
- Beneficio neto anual estimado: **46.000 €**.
- Periodo de retorno (payback): **6 años**.
- Valor Actual Neto (VAN): **643.000 €**.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): **17 %**.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, este proyecto demuestra que la eficiencia energética y la conservación del patrimonio no solo pueden coexistir, sino reforzarse mutuamente, generando un modelo replicable y sostenible para otros edificios históricos de España.

ENERGY EFFICIENCY RESTORATION OF THE PALACIO DE LOS CONDES DE GAMAZO

Author: Navarro Luccardi, José Luis.

Director: García y Garmendia, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University

PROJECT SUMMARY

This Final Degree Project develops a proposal for the energy rehabilitation of the Palace of the Counts of Gamazo, a historic building located in Boecillo (Valladolid), combining high-efficiency technical solutions with a business strategy that guarantees its economic viability. Through innovative, non-invasive solutions that respect the building's architectural heritage, it is possible to reduce its annual energy demand by 50 % and cover 46 % of this with a photovoltaic solar energy installation. Furthermore, with the proposed business model, not only is the investment recovered in just 6 years, but a return of more than 17 % IRR is achieved. The project demonstrates that it is possible to combine sustainability and economic profitability with the long-term conservation of historical heritage, with a realistic and replicable technical proposal.

Keywords: efficiency, heritage, renovation, photovoltaic, aérothermal.

1. INTRODUCTION

The Palace of the Counts of Gamazo, built at the end of the 19th century, is not only an architectural asset of great heritage value, but also an opportunity to develop energy efficiency solutions suitable for protected buildings of this type. This work is based on a detailed technical and energy inspection of the building and proposes a series of improvements in terms of energy efficiency that are adapted to heritage restrictions: LED lighting, thermal insulation, replacement of the oil-fired boiler with aerothermal energy, and installation of a photovoltaic solar system.

To demonstrate the economic viability of all this, a balanced business model is proposed that is consistent with the palace's spaces and identity, seeking to exploit the palace through important celebrations, corporate events and workspaces, thus allowing the investment to be recouped.

2. PROJECT DEFINITION

The project is structured around four main pillars:

- **Technical and energy diagnosis of the building**, through on-site inspection, climate references, and estimates of thermal and electrical demand.
- **Proposal for energy efficiency solutions**, all of which seek to improve the building's performance with minimal structural and aesthetic impact.
- **Sizing of a photovoltaic installation**, respecting both the historical appearance of the Palace and the legal limitations on self-consumption.
- **Comprehensive economic evaluation**, including total investment, an assessment of energy savings, a proposed business model, and economic indicators (payback, NPV and IRR).

3. METHODOLOGY AND TOOLS USED

The project combines numerous tools and verified sources of information: from Excel for thermal analysis of the building envelope, to meteorological databases for solar simulation (PVGIS), price generators for renovation work in Spain (CYPE), and leading websites such as Idealista.com and Bodas.net for benchmarking market prices in the sector.

4. RESULTS

Technical results:

- Total reduction in annual energy demand: **50 %**.
- Photovoltaic generation: **148 MWh/year** (46 % coverage).
- Estimated emissions savings: **35 tonnes of CO₂** per year.

Economic results:

- Estimated initial investment: **€ 311,000**.
- Estimated annual net profit: **€ 46,000**.
- Payback period: **6 years**.
- Net present value (NPV): **€ 643,000**.
- Internal rate of return (IRR): **17 %**.

5. CONCLUSIONS

In conclusion, this project demonstrates that energy efficiency and heritage conservation can not only coexist, but also reinforce each other, creating a replicable and sustainable model for other historic buildings in Spain.

*A mi bisabuelo, Saturnino.
Este proyecto es también suyo.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi especial agradecimiento a mi director de trabajo, Antonio García y Garmendia, por su cercanía, exigencia y orientación constante a lo largo de este trabajo. Su rigor y disposición han sido fundamentales para alcanzar la ambición y calidad de este proyecto.

A mi padre, José Luis, por facilitarme los planos del Palacio y compartir conmigo información valiosa que, de otro modo, habría sido imposible reunir. Gracias también por la paciencia de acompañarme en las varias inspecciones técnicas que me ha tocado hacer.

A mi madre, Arianna, porque es gracias a su dedicación, apoyo y esfuerzo constante que hoy tengo la oportunidad de presentar este trabajo y cerrar esta etapa académica en esta universidad.

A mi hermano, Aless, por estar siempre dispuesto a escuchar y darme consuelo en los momentos de frustración y bloqueo, que no han sido pocos.

A mi amigo, Robert, por hacer más llevaderas y humanas las largas tardes de trabajo en Bruselas, recordándome que el equilibrio también forma parte del proceso.

A mis amigos y profesores del ICAI, que han convertido estos cuatro años en una experiencia mucho más trascendental que una mera formación académica.

Finalmente, al tribunal evaluador, por la dedicación, el tiempo y la atención que supone leer y valorar esta clase de trabajos. Para quienes lo defendemos, este esfuerzo significa mucho.

ÍNDICE GENERAL

1. El Palacio Condal de Gamazo	1
1.1. Historia del Palacio	1
1.2. Especificaciones	3
1.3. Condiciones climáticas del entorno	4
1.4. Caracterización exterior	9
1.5. Sótano	11
1.6. Gran Sala y Vestíbulo	11
1.7. Primera Planta	12
1.8. Segunda Planta	13
1.9. Composición de muros y aislamiento	14
1.10. Ventanas y aberturas	16
1.11. Iluminación	17
1.12. Sistemas HVAC	18
1.13. Electrodomésticos industriales	19
1.14. Conclusiones del capítulo	20
2. Estado del Arte	21
2.1. Tecnologías	21
2.2. Casos de éxito	26
2.3. Conclusiones del capítulo	40
3. Evaluación Necesidades Energéticas	42
3.1. Normativa	42
3.2. Demanda eléctrica	45
3.2.1. Demanda de Iluminación	45

3.2.2.	Demanda de Aparatos	48
3.3.	Climatización	52
3.3.1.	Cargas de transmisión	52
3.3.2.	Cargas de ventilación	60
3.4.	Agua Caliente Sanitaria	66
3.5.	Conclusiones del capítulo	70
4.	Selección de Tecnologías	71
4.1.	Aislamiento térmico	71
4.2.	Acristalamientos	74
4.3.	Demanda térmica actualizada	76
4.4.	Solución para climatización y ACS	79
4.4.1.	Climatización de calor y frío	80
4.4.2.	Producción de ACS	86
4.5.	Conclusiones del capítulo	88
5.	Satisfacción de la Demanda	89
5.1.	Marco normativo	89
5.2.	Estimación de demanda eléctrica	90
5.3.	Diseño instalación fotovoltaica	93
5.3.1.	Análisis del recurso solar	93
5.3.2.	Selección de tecnología fotovoltaica	95
5.3.3.	Distribución física y disposición	97
5.3.4.	Selección del inversor	102
5.4.	Evaluación del balance energético	103
5.5.	Conclusiones del capítulo	104
6.	Análisis de Viabilidad y Resultados	106
6.1.	Inversión inicial (CAPEX)	106
6.1.1.	Iluminación	106
6.1.2.	Aislamiento y cerramientos acristalados	107
6.1.3.	Climatización y ACS por aerotermia	110
6.1.4.	Instalación fotovoltaica	111

6.1.5. Inversión total prevista	111
6.2. Ahorro operativo anual (OPEX)	113
6.2.1. Iluminación	113
6.2.2. Aislamiento y cerramientos acristalados	113
6.2.3. Climatización y ACS por aerotermia	114
6.2.4. Instalación fotovoltaica	115
6.2.5. Ahorro energético total previsto	115
6.3. Análisis de viabilidad (ahorro puramente energético)	117
6.4. Modelo de negocio propuesto	121
6.4.1. Celebraciones y eventos	121
6.4.2. Espacios de trabajo	124
6.5. Análisis de viabilidad (actualizado con negocio)	129
6.6. Conclusiones del capítulo	131
7. Conclusiones y Trabajos Futuros	132
7.1. Conclusiones	132
7.2. Cumplimiento de objetivos	134
7.3. Futuros desarrollos	135
Appendix	137
A. Planos arquitectónicos	137
B. Cálculos Transmisión Térmica	140
B.1. Planta Baja	140
B.2. Planta 1	142
B.3. Planta 2	144
B.4. Sótano	147
Bibliografía	151

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Palacio de los Condes de Gamazo (Fuente: Google Images, 2025)	2
1.2. Mapa de Boecillo (Fuente: Google Maps, 2025)	4
1.3. Clasificación climática Köppen de Europa (Fuente: Google Images, 2025)	5
1.4. Tabla meteorológica de Valladolid (Fuente: Climate-Data.org 2025) . .	5
1.5. Gráficos meteorológicos (Fuente: Climate-Data.org 2025)	6
1.6. Selección de datos y coordenadas en PVGIS (Fuente: Comisión Europea 2025b)	6
1.7. Gráficos de radiación solar PVGIS (Fuente: Comisión Europea 2025b) .	7
1.8. Gráfico de precipitaciones Valladolid (Fuente: Metar-Taf.com 2025) . .	8
1.9. Detalles de la fachada del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025) .	10
1.10. Detalles de la cubierta del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025) .	10
1.11. Espacios del sótano (Fuente: Elaboración propia, 2025)	11
1.12. Espacios de la planta baja (Fuente: Elaboración propia, 2025)	12
1.13. Espacios de la primera planta (Fuente: Elaboración propia, 2025) . . .	13
1.14. Espacios de la segunda planta (Fuente: Elaboración propia, 2025) . . .	14
1.15. Características muros (Fuente: Elaboración propia, 2025)	15
1.16. Detalles acristalamiento (Fuente: Elaboración propia, 2025)	17
1.17. Detalles iluminación (Fuente: Elaboración propia, 2025)	18
1.18. Detalles de ventilación (Fuente: Elaboración propia, 2025)	19
1.19. Electrodomésticos (Fuente: Elaboración propia, 2025)	20
2.1. Esquema de sensor pasivo de infrarrojos (Fuente: Cennini, Chestakov y Johnson 2013)	22
2.2. Panel de aerogel en ventana de un único cristal (Fuente: Wang et al. 2021)	24

2.3. Fabricación de módulos inteligentes de células solares (Fuente: Moslehi et al. 2016)	25
2.4. Detalles Palazzo Medici (Fuente: Salvadori et al. 2016)	27
2.5. Detalles Palazzo d'Accursio (Fuente: Troi y Bastian 2014)	28
2.6. Alzado frontal del edificio (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011)	29
2.7. Demanda energética original (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011) . .	30
2.8. Tejas de arcilla <i>cool roof</i> (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011)	31
2.9. Gráficas del Palacio de Częstochowa(Fuente: Kruzal y Helbrych 2019) .	33
2.10. Pruebas termográficas Waaghaus (Fuente: Roberti et al. 2017)	34
2.11. Detalles de Palazzina della Viola (Fuente: Google Images, 2025)	35
2.12. Ensayos no destructivos (Fuente: Troi y Bastian 2014)	36
2.13. The Material Court of the Fortress (Fuente: Troi y Bastian 2014) . . .	37
2.14. Algoritmo para el control de la iluminación (Fuente: Troi y Bastian 2014)	39
2.15. Fachada Casa Palacio de los Miranda (Fuente: Google Images, 2025) . .	40
3.1. Planos puntos de consumo eléctrico Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	49
3.2. Planos puntos de consumo eléctrico Planta 1 y 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	49
3.3. Planos puntos de consumo eléctrico Sótano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	50
3.4. Demanda energética media mensual de ACS (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	70
4.1. Detalles del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)	72
4.2. Detalles de Cerramientos (Fuente: Elaboración propia, 2025)	75
4.3. Reducción progresiva de demanda térmica en invierno (Fuente: Elaboración propia, 2025)	79
4.4. Panasonic ECOi-W AQUA-G BLUE R290 (Fuente: Panasonic, 2025) .	83
4.5. Controlador de cascada Plug & Play (Fuente: Panasonic, 2025)	84
4.6. Depósito Inercia LAPESA MASTER 3500L (Fuente: Lapesa, 2025) . .	85
4.7. Acumulador ACS CORDIVARI DAB 2050L (Fuente: Cordivari, 2025) .	87

4.8. Esquema del sistema de climatización y ACS (Fuente: Elaboración propia, 2025)	88
5.1. Gráfico de ocupación mensual hotelera en Valladolid (Fuente: INE, 2024)	92
5.2. Gráfico de Irradiación solar mensual en Boecillo (Fuente: PVGIS, 2023)	94
5.3. Panel Solar JA Solar Deep Blue 4.0 (Fuente: JA Solar, 2025)	96
5.4. Medición superficie tejado Gran Sala (Fuente: Google Maps, 2025) . . .	97
5.5. Disposiciones posibles de instalación de placas (Fuente: Autosolar, 2025)	99
5.6. Proyección de sombra sobre el Palacio el 22 de julio (Fuente: ShadeMap, 2025)	100
5.7. Simulación instalación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025) .	101
5.8. Gráfica demanda frente a generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)	104
6.1. Distribución inversión prevista por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)	112
6.2. Gráfica comparativa ahorro energético de cada mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)	116
6.3. Retorno acumulado de la inversión y payback (Fuente: Elaboración propia, 2025)	117
6.4. Beneficio bruto previsto por bloque de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)	126
6.5. Retorno acumulado inversión con modelo de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)	130
A.1. Planos del Palacio (Fuente: Estudio arquitectónico, 2025)	137
A.2. Plano Sótano (Fuente: Arquitectura, 2025)	138
A.3. Plano planta baja (Fuente: Arquitectura, 2025)	138
A.4. Plano segunda planta (Fuente: Arquitectura, 2025)	139
A.5. Plano segunda planta (Fuente: Arquitectura, 2025)	139

ÍNDICE DE CUADROS

1.1. Especificaciones constructivas del Palacio (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	3
1.2. Distribución planta baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	12
1.3. Distribución primera planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	13
1.4. Distribución segunda planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	14
1.5. Composición de los muros por planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	16
1.6. Ventanas y aberturas del Palacio (Fuente: Elaboración Propia, 2025) .	17
1.7. Características de iluminación (Fuente: Elaboración Propia, 2025) . . .	18
3.1. Comparativa de lámparas sustituidas (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	46
3.2. Potencia iluminación y comparativa con original (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	47
3.3. Demanda eléctrica de aparatos (Fuente: Elaboración Propia, 2025) . . .	48
3.4. Estimación del consumo eléctrico diario según uso (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	51
3.5. Condiciones climáticas externas (Fuente: Guía Técnica Condiciones Climáticas, 2025)	53
3.6. Variación térmica en función de profundidad (Fuente: <i>Arquitectura subterránea</i> 2024)	53
3.7. Temperaturas para transmisión térmica del sótano (Fuente: Elaboración propia, 2025)	54
3.8. Condiciones de confort térmico seleccionadas (Fuente: Elaboración propia, 2025)	55
3.9. Transmitancia térmica de muros exteriores (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	56

3.10. Transmitancia térmica de cerramientos (Fuente: Banyeras, Ferroli y Barreras 2011)	57
3.11. Cargas transmisión térmica corregida - Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	58
3.12. Cargas transmisión térmica corregida - Planta 1 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	58
3.13. Cargas transmisión térmica corregida - Planta 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	59
3.14. Cargas transmisión térmica - Sótano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	60
3.15. Clases de calidad del aire interior (IDA) (Fuente: Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de 2007)	61
3.16. Carga térmica por ventilación – Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	62
3.17. Carga térmica por ventilación – Planta 1 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	63
3.18. Carga térmica por ventilación – Planta 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	63
3.19. Carga térmica por ventilación – Sótano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	64
3.20. Demanda térmica total por planta en verano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	65
3.21. Demanda térmica total por planta en invierno (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	65
3.22. Caudales instantáneos mínimos por tipo de aparato (Fuente: CTE (HS) Salubridad, 2025)	66
3.23. Número total de aparatos por planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	67
3.24. Caudal total según número de aparatos (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	67
3.25. Demanda de ACS en función del uso y ocupación (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	68
3.26. Potencia térmica media mensual de ACS (Fuente: Elaboración Propia, 2025)	69

4.1. Comparativa de soluciones de aislamiento térmico	72
4.2. Soluciones de aislamiento elegidas por zona del Palacio	73
4.3. Opciones de mejora térmica para cerramientos acristalados	74
4.4. Demanda térmica tras medidas pasivas, verano (Fuente: Elaboración propia, 2025)	78
4.5. Demanda térmica tras medidas pasivas, invierno (Fuente: Elaboración propia, 2025)	78
4.6. Comparativa calderas sostenibles (Fuente: <i>EnerPop Energías Renovables 2025</i>)	81
5.1. Consumo eléctrico diario por grupo de demanda. Fuente: Elaboración propia (2025).	91
5.2. Demanda eléctrica mensual según ocupación hotelera en Valladolid (Fuente: INE, 2024)	93
5.3. Parámetros solares del emplazamiento (Fuente: PVGIS, 2025)	94
5.4. Comparativa técnica modelos de paneles solares (Fuente: Elaboración propia, 2025)	95
5.5. Especificaciones generales panel solar escogido (Fuente: JA Solar, 2025)	96
5.6. Especificaciones eléctricas del panel solar escogido (Fuente: JA Solar, 2025)	96
5.7. Especificaciones técnicas del inversor seleccionado (Fuente: Huawei, 2025)	102
5.8. Balance mensual demanda y generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)	103
6.1. Inversión prevista renovación sistema de iluminación (Fuente: Elaboración propia, 2025)	107
6.2. Estimación de superficies a aislar (Fuente: Elaboración propia, 2025) . .	108
6.3. Inversión prevista en aislamiento y cerramientos 1/2 (Fuente: Elaboración propia, 2025)	108
6.4. Inversión prevista en aislamiento y cerramientos 2/2 (Fuente: Elaboración propia, 2025)	109
6.5. Inversión prevista aerotermia climatización y ACS (Fuente: Elaboración propia, 2025)	110

6.6. Inversión prevista instalación generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)	111
6.7. Estimación inversión total prevista del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)	112
6.8. Estimación ahorro energético por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)	115
6.9. Ahorros anuales estimados por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)	116
6.10. Información económica del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)	118
6.11. Indicadores VAR y TIR del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)	119
6.12. Indicadores individuales por área de medida (Fuente: Elaboración propia, 2025)	120
6.13. Capacidad de los espacios explotables del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)	121
6.14. Beneficio bruto unitario – Paquete Bodas (Fuente: Elaboración propia, 2025)	123
6.15. Beneficio bruto unitario – Paquete Eventos (Fuente: Elaboración propia, 2025)	124
6.16. Beneficio bruto mensual – Oficinas y Coworking (Fuente: Elaboración propia, 2025)	125
6.17. Progresión beneficio bruto por unidad de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)	126
6.18. Costes indirectos anuales y estimación EBITDA (Fuente: Elaboración propia, 2025)	127
6.19. Cálculo EBIT a partir de EBITDA y amortización (Fuente: Elaboración propia, 2025)	128
6.20. Retorno de inversión desde EBIT anual (Fuente: Elaboración propia, 2025)	129
6.21. Payback, VAN y TIR del proyecto al completo (Fuente: Elaboración propia, 2025)	130
6.22. Resumen ejecutivo del capítulo (Fuente: Elaboración propia, 2025) . . .	131

7.1. Síntesis de resultados técnicos alcanzados (Fuente: Elaboración propia, 2025)	133
B.1. Cálculos transmisión térmica - Planta Baja (Fuente: Elaboración propia, 2025)	142

1 EL PALACIO CONDAL DE GAMAZO

En el presente capítulo se analiza el Palacio de los Condes de Gamazo¹, ubicado en Boecillo, Valladolid. En primer lugar, se contextualiza su origen y evolución; desde su construcción en 1928 como residencia de verano de Juan Antonio Gamazo hasta su transformación en el Casino de Castilla y León tras su adquisición en 1985. A continuación, se examina su entorno urbano y su relación con otros edificios históricos del centro del municipio. Además, se describen sus características arquitectónicas, haciendo especial énfasis en su estilo neoclásico, realizado por los materiales empleados en su fachada y sus revestimientos característicos. Finalmente, se analizan las intervenciones llevadas a cabo a lo largo del tiempo, tanto aquellas que alteraron su estructura original como las destinadas a modernizar sus instalaciones. Todo ello con el objetivo de evaluar su eficiencia energética actual y sentar las bases para su posible mejora.

1.1 HISTORIA DEL PALACIO

El Palacio de los Condes de Gamazo, ubicado en c/ Germán Gamazo y Calvo 48, Boecillo (Valladolid), es un edificio histórico que representa la riqueza y el poder que la familia Gamazo ejerció en la región. Este linaje comenzó a consolidar su influencia a finales del siglo XIX, cuando Germán Gamazo y Calvo, una destacada figura política de la Restauración en España, estableció las raíces familiares en Boecillo. Tras el fallecimiento de Germán en 1901, su hijo, Juan Antonio Gamazo, heredero de la casa familiar, decidió sustituir la antigua vivienda por un palacio de estilo neoclásico, que finalizó su obra en 1928.

En 1985, la propiedad fue adquirida por el Casino de Castilla y León, que adaptó el Palacio para albergar el casino y construyó otros tres edificios adicionales en la misma

¹Boecillo 2025.

parcela con fines de explotación comercial. Estas nuevas edificaciones incluyeron un edificio con salones y discotecas, otro edificio de oficinas para labores administrativas, y un almacén, ampliando así la funcionalidad del complejo. Dado que las edificaciones añadidas tras la adquisición en 1985 cuentan con características modernas y carecen de valor patrimonial, este estudio se centrará exclusivamente en el Palacio original de 1928, que, para distinguirlo del resto de edificaciones de la propiedad, ha sido resaltado en rojo en los planos arquitectónicos completos, Figura A.1.



Figura 1.1: Palacio de los Condes de Gamazo (Fuente: Google Images, 2025)

1.2 ESPECIFICACIONES

Nombre del edificio	Palacio de los Condes de Gamazo
Ubicación	Boecillo, Valladolid, España (41.5398480, -4.6992024)
Año de construcción	1928
Función original	Residencial
Función actual	Comercial
Método constructivo	Muros de carga de ladrillo macizo y forjados metálicos
Número de plantas	3 niveles sobre rasante + 1 sótano
Superficie construida	2.968,44 m ²
Orientación	Suroeste, buena orientación solar
Arquitectura clave	Balcones, torre mirador, ventanas ornamentales

Cuadro 1.1: Especificaciones constructivas del Palacio (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Con respecto al resto de la ciudad, el Palacio de los Condes de Gamazo se sitúa en el centro histórico de Boecillo, a tan solo 50 m de la Iglesia de San Cristóbal y 100 m de la Plaza Condes de Gamazo y el Ayuntamiento de Boecillo. Sin embargo, debido al diseño urbanístico de Boecillo, el Palacio se encuentra realmente en la frontera sur de la geografía de la ciudad.



Figura 1.2: Mapa de Boecillo (Fuente: Google Maps, 2025)

Como se observa en la Figura 1.2, el Palacio está rodeado por tres calles: c/ Germán Gamazo y Calvo al este, c/ Escuela al norte y la estrecha calle peatonal c/ de la Iglesia Vieja al oeste. El acceso al Palacio es peatonal por la c/ Germán Gamazo y Calvo, aunque se puede acceder a través del aparcamiento de la propiedad, conectado al sur con la Carretera de Viana a Tudela (CL-600).

1.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO

Las coordenadas del Palacio (41.5398480, -4.6992024) lo sitúan en la región de clima frío y semiárido (BSk) según el mapa de clasificación climática Köppen-Geiger², Figura 1.3. Las zonas climáticas de estas características se distinguen generalmente por tener veranos cortos, calurosos y secos. Por otro lado, los inviernos suelen ser muy fríos y parcialmente nublados, pero con menos nieve que regiones más húmedas en latitudes similares. Otra característica a destacar de este tipo de clima es la variación térmica, que puede llegar hasta 20 °C de diferencia entre la noche y el día.

²Beck et al. 2023.

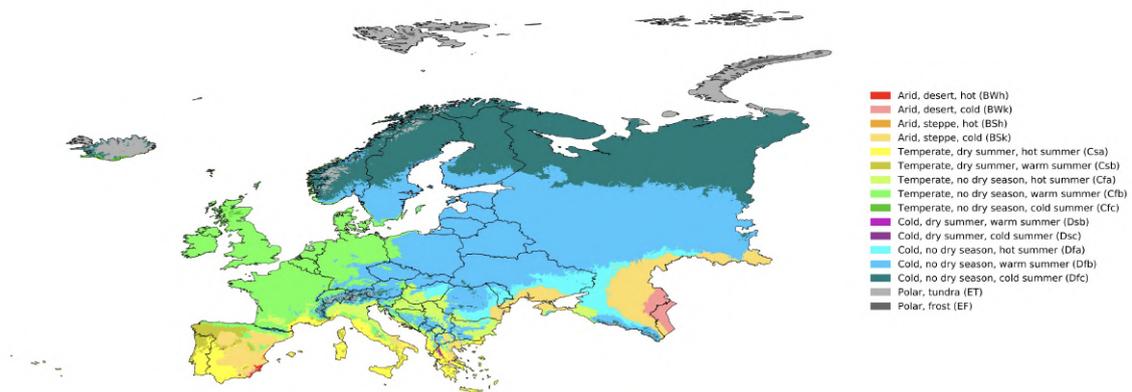


Figura 1.3: Clasificación climática Köppen de Europa (Fuente: Google Images, 2025)

En términos de distribución de temperaturas, en la tabla 1.4 se representa una gran variedad de información, incluyendo el promedio mensual de temperaturas medias, máximas, y mínimas en la provincia de Valladolid, basándose en datos recopilados desde 1991 hasta 2021. De la tabla se extrae que la temperatura media en los meses de verano ronda los 20°C, mientras que en los meses invernales suele caer hasta los 4°C. En cuanto al promedio de temperaturas máximas, no suele sobrepasar los 30°C en verano, mientras que las mínimas no bajan tampoco de 0°C en invierno, como bien se aprecia en la Figura 1.5a. Sin embargo, en cuanto a valores extremos³, Valladolid cuenta con un promedio de 17 días al año en los que se alcanzan temperaturas por encima de 32°C, y 60 días en los que se baja de 0°C.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	4 °C (39.2) °F	4.9 °C (40.7) °F	7.9 °C (46.2) °F	10.5 °C (50.9) °F	14.7 °C (58.4) °F	19.9 °C (67.8) °F	22.4 °C (72.4) °F	22.3 °C (72.2) °F	18.5 °C (65.3) °F	13.5 °C (56.2) °F	7.3 °C (45.2) °F	4.5 °C (40.1) °F
Min. Temperature °C (°F)	0.7 °C (33.2) °F	0.6 °C (33.2) °F	2.8 °C (37.1) °F	5 °C (41) °F	8.5 °C (47.3) °F	12.9 °C (55.3) °F	15.1 °C (59.2) °F	15.1 °C (59.1) °F	12.3 °C (54.1) °F	8.6 °C (47.5) °F	3.8 °C (38.9) °F	1.2 °C (34.1) °F
Max. Temperature °C (°F)	8 °C (46.4) °F	9.7 °C (49.4) °F	13.4 °C (56.1) °F	16.1 °C (61.1) °F	20.7 °C (69.3) °F	26.6 °C (79.8) °F	29.6 °C (85.2) °F	29.3 °C (84.8) °F	24.9 °C (76.7) °F	18.8 °C (65.8) °F	11.4 °C (52.5) °F	8.5 °C (47.3) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	47 (1)	35 (1)	41 (1)	53 (2)	52 (2)	31 (1)	18 (0)	15 (0)	31 (1)	61 (2)	56 (2)	50 (1)
Humidity(%)	83%	76%	66%	64%	56%	46%	41%	41%	50%	66%	79%	82%
Rainy days (d)	6	5	6	8	7	4	3	2	4	6	7	6
avg. Sun hours (hours)	4.1	5.5	7.2	8.5	10.5	12.2	12.7	11.7	10.0	7.3	4.8	4.1

Figura 1.4: Tabla meteorológica de Valladolid (Fuente: Climate-Data.org 2025)

³Weatherbase 2025.

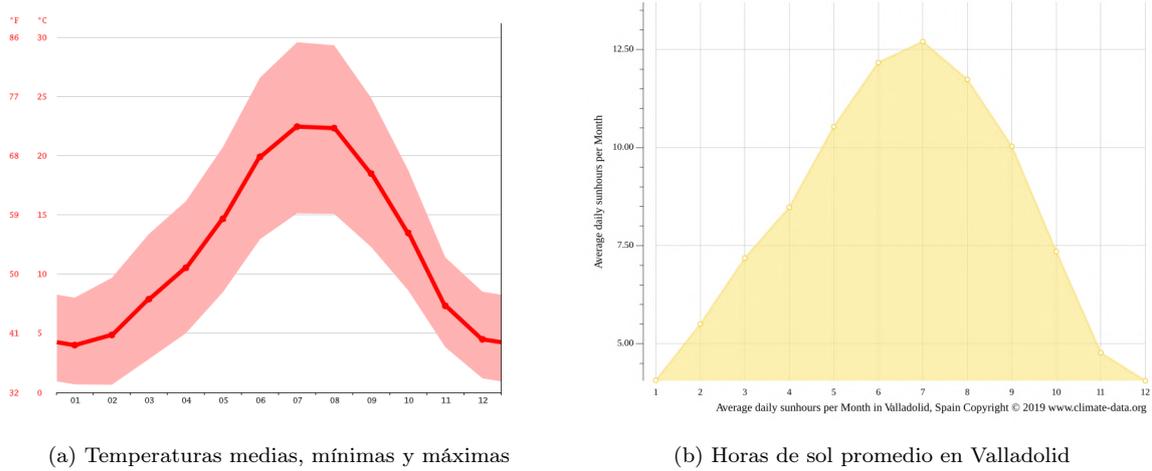


Figura 1.5: Gráficos meteorológicos (Fuente: Climate-Data.org 2025)

Para consideraciones de eficiencia térmica, y de generación de energía fotovoltaica, es importante caracterizar el entorno en términos de sol. Según datos meteorológicos de los últimos 30 años, la provincia de Valladolid cuenta con un promedio anual de 2639 horas de sol⁴, siendo la media diaria de unas 7,2 h. El mes más soleado es julio, con 12,7 h, y el menos soleado diciembre, con tan solo 4,07 h de sol diarias, como se representa en la Figura 1.5b. En cuanto a la radiación solar⁵, el promedio anual de 1693 kWh/m² representa un buen potencial para la instalación de paneles fotovoltaicos, y será un dato útil para estimar el potencial de generación fotovoltaica del edificio, dependiendo del área (en m²) que abarquen los paneles instalados.

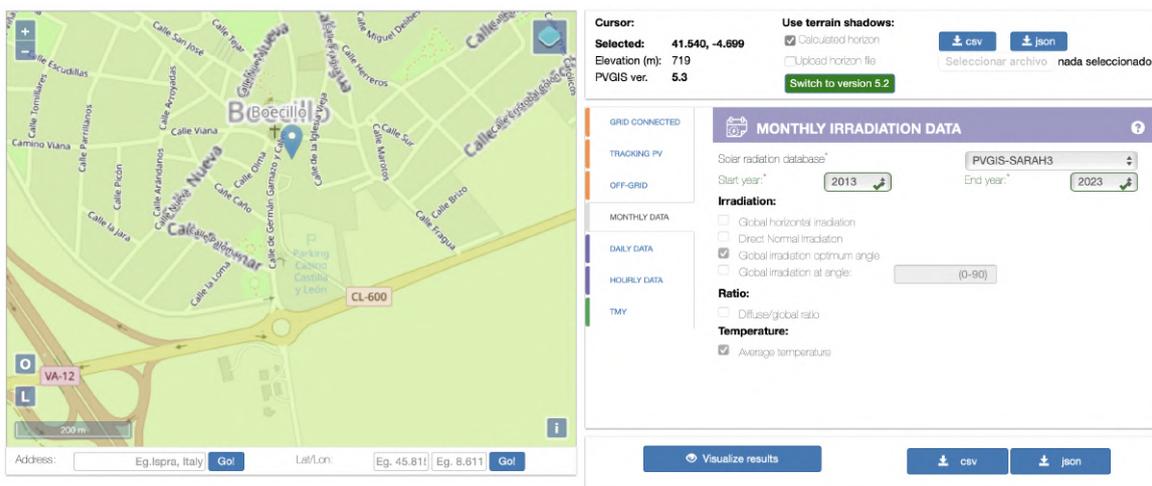


Figura 1.6: Selección de datos y coordenadas en PVGIS (Fuente: ComisiónEuropea 2025b)

⁴Weather-And-Climate.com 2025.

⁵Yousif, Quecedo y Bilbao 2013.

Para estimar el ángulo óptimo de la radiación, se empleó el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) de la Unión Europea⁶. Utilizando los datos de radiación de 2013-2023 de la base de datos PVGIS-SARAH3 e introduciendo las coordenadas exactas del Palacio, Figura 1.6, se obtiene una inclinación óptima anual de 35° para los paneles fotovoltaicos, que maximiza la captación solar durante todo el año. Además del ángulo óptimo, esta base de datos genera una gráfica de radiación solar mensual, y un diagrama de representación polar del recorrido del sol por la ubicación seleccionada, ambos representados en la Figura 1.7. A partir de este diagrama se comprende cómo varía el recorrido solar según el momento del año: en el solsticio de verano (línea discontinua), el sol sale por el noreste (NE), y se pone por el noroeste (NW), alcanzando una altura angular máxima de 71° en el *azimuth* geográfico (0° respecto al norte), mientras que en el solsticio de invierno (línea punteada), el sol sale más al sureste (SE) y se pone al suroeste (SW), alcanzando alturas mucho más bajas. Finalmente, la línea gris exterior representa el horizonte real (como edificaciones, vegetación o relieve) que podrían generar sombras sobre el edificio. En este caso, su trazado se mantiene muy cercano al borde del diagrama, lo que indica una obstrucción mínima. Esta condición es favorable para el aprovechamiento solar, ya que garantiza una alta exposición al sol a lo largo del día, siendo ideal para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

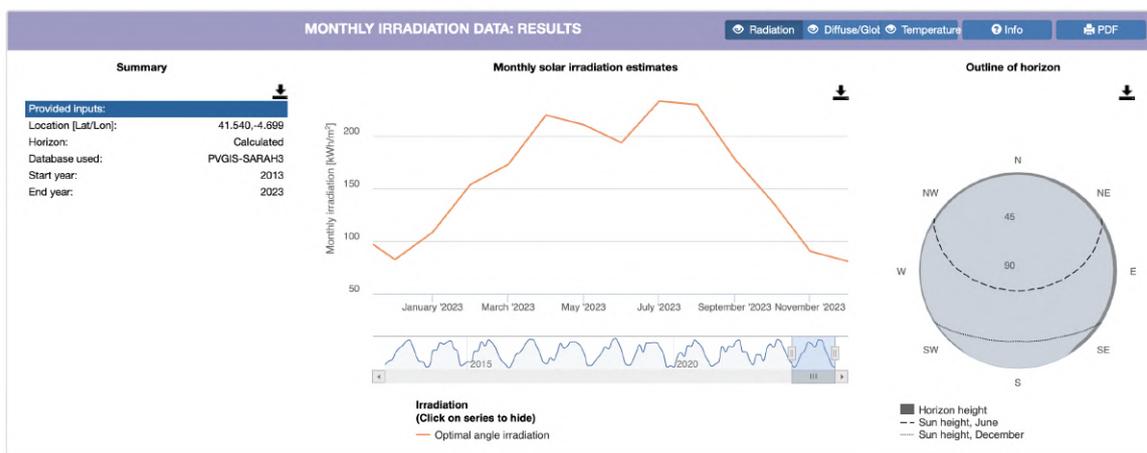


Figura 1.7: Gráficos de radiación solar PVGIS (Fuente: Comisión Europea 2025b)

⁶Comisión Europea 2025b.

Debido a las características semiáridas de la zona climática, Valladolid no es una provincia especialmente lluviosa, contando con una media de precipitación anual de entre 435-517 mm. El mes más lluvioso sería octubre, con una precipitación media de 60,3 mm, mientras que el más seco sería agosto, con tan solo 7,9 mm de lluvia en el mes⁷. En cuanto a días de lluvia, el promedio en Valladolid sería de unos 59 días al año, siendo primavera y otoño las estaciones con más días de lluvia, Figura 1.8.

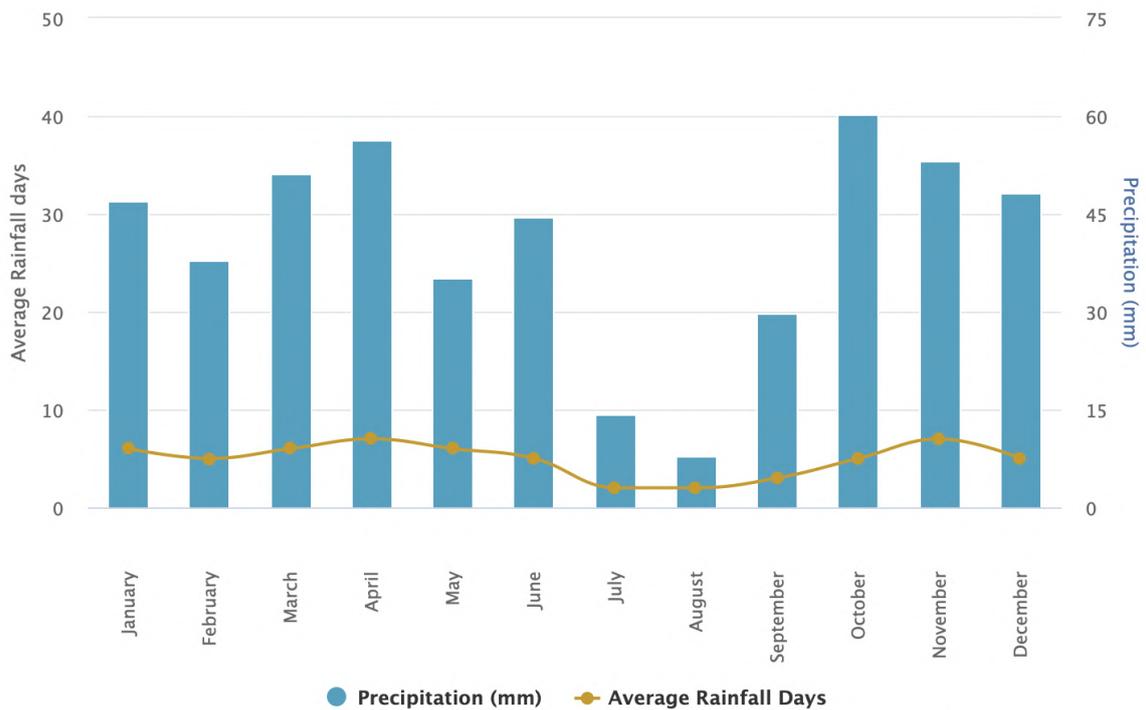


Figura 1.8: Gráfico de precipitaciones Valladolid (Fuente: Metar-Taf.com 2025)

Pese a no contar con muchas precipitaciones, la región cuenta con una humedad relativa elevada, comparada con otras zonas de la península, con valores máximos de 83 % en diciembre y mínimos de 44 % en julio. En términos de promedio anual, la provincia ronda el 64 % de humedad relativa. Por otro lado, la velocidad promedio anual del viento en Valladolid ronda los 15 km/h, con una media máxima de 19,4 km/h en marzo, y mínima de 13,1 km/h en agosto⁸. De forma general, estas rachas de viento suelen tener dirección suroeste (SW), especialmente en los meses de enero, febrero y marzo.

⁷Metar-Taf.com 2025.

⁸Metar-Taf.com 2025.

1.4 CARACTERIZACIÓN EXTERIOR

Debido a sus características principales, el edificio entra en la categoría de palacio. Más concretamente, se trata de un palacio de estilo neoclásico, que desde su finalización en 1928, serviría como una lujosa residencia de verano para Juan Antonio, y un destacado punto de encuentro para la élite política y financiera de la época.

Tras la adquisición de este por el Casino de Castilla y León en 1985, se llevaron a cabo numerosas obras para adaptar este palacio residencial a las necesidades comerciales del casino: En primer lugar se construyó un añadido de 838,41 m² en la cara norte del Palacio que serviría para albergar la sala de juego principal y un restaurante. En segundo lugar, se realizó una importante obra para la inclusión de una planta subterránea de 1151,36 m² para facilitar la explotación y gestión de la actividad. Finalmente, en el propio palacio, se llevaron a cabo modernizaciones en los aseos y en la cocina.

Tras estas ampliaciones y modificaciones estructurales, el palacio original, con sus grandes salones, pasaría a funcionar como restaurante, pudiendo acomodar hasta 120 comensales. Por otro lado, la sala principal, o 'Gran Sala', albergaría las máquinas de juego y un restaurante lateral para los clientes del casino. Para asistir a la explotación de la actividad comercial, se destinaría el sótano. Este incluía todo lo necesario, desde la cocina principal, hasta salas de descanso de croupiers, vestuarios de personal, y almacenes.

El estilo neoclásico de la cubierta se manifiesta a través de un recubrimiento de mortero de cal y yeso que le da esa apariencia blanca, que se aprecia en la Figura 1.9a. A esto se suma varios balcones y ventanales con cristaleras originales y marcos de madera, ambos con serias señales de deterioro, visibles en la Figura 1.9b. Además, destacan varios adornos y marcos de piedra caliza, que le dan ese tono beige a la edificación. La torre mirador, de la misma piedra caliza, se eleva sobre la esquina izquierda de la fachada principal e incluye seis arcos de medio punto. Estos evocan la tradición de la arquitectura neo-mudéjar, muy presente en la arquitectura castellana de principios del siglo XX.



(a) Fachada del Palacio

(b) Marco exterior de una ventana

Figura 1.9: Detalles de la fachada del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

El tejado del Palacio original, sobre el que anida una familia de cigüeñas, usa tejas cerámicas árabes curvas en disposición canal-cobija, formando una cubierta a cuatro aguas, mientras que la cubierta de la Gran Sala es a dos aguas, empleando el mismo tipo de teja, Figura 1.10a. La cubierta del palacio cuenta con una serie de tragaluces de vidrio. Como se puede apreciar en la Figura 1.10b, algunos de estos cuentan con vidrios rotos, lo que lleva a problemas de infiltración de aire y humedades en la buhardilla y el resto del edificio.



(a) Tejado del Palacio

(b) Tragaluz con vidrio roto

Figura 1.10: Detalles de la cubierta del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.5 SÓTANO

Como se ha mencionado anteriormente, el sótano forma parte de la obra posterior a 1985, y cuenta con 16 salas de tamaño pequeño, ocho vestuarios para personal, visibles en la Figura 1.11b, 13 aseos, y una gran cocina. Debido a su relativa modernidad, dichos espacios se encuentran en muy buen estado de conservación, exceptuando problemas puntuales de humedades en vestuarios y aseos.

En cuanto a las instalaciones, son modernas, pero con margen de mejora: para la iluminación se utilizan lámparas fluorescentes tradicionales de baja eficiencia, y en la cocina se emplean varios tipos de electrodomésticos de la época, fácilmente sustituibles por alternativas modernas de mayor eficiencia.



(a) Sala de descanso croupiers

(b) Vestuarios personal

Figura 1.11: Espacios del sótano (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.6 GRAN SALA Y VESTÍBULO

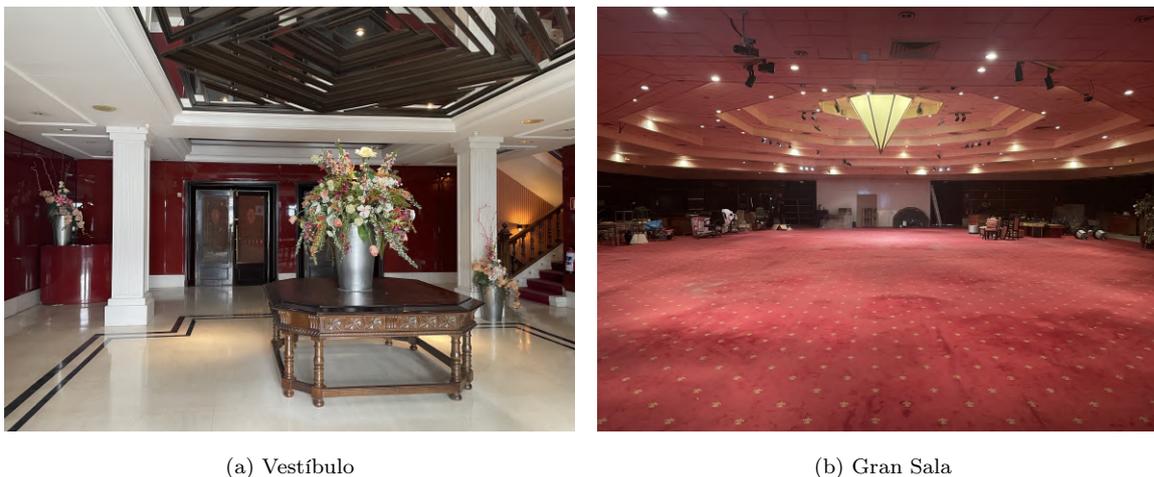
Accediendo al edificio por la escalinata exterior, se llega al vestíbulo, Figura 1.12a, un espacio original del palacio que fue reacondicionado para adaptarse a su nueva función. Esta superficie mantiene sus suelos de piedra y techos altos decorados con molduras, aunque su distribución fue modificada para incluir un guardarropa para clientes, una recepción y tres pequeños despachos.

Desde el vestíbulo, avanzando hacia el interior, se accede a la Gran Sala, Figura 1.12b. Esta ampliación de gran capacidad, añadida tras la conversión del edificio en casino, se dedicó a albergar máquinas de juego y un restaurante para clientes.

Esta sala, diseñada para maximizar la rentabilidad comercial, carece por completo de iluminación natural, compensando esta ausencia con un sistema de focos y lámparas que garantizan una iluminación uniforme y óptima en todo el espacio.

Espacio	Dimensiones [m²]
Gran Sala	683,87
Restaurante	154,54
Vestíbulo	144,72
Espacios adicionales	82,60

Cuadro 1.2: Distribución planta baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



(a) Vestíbulo

(b) Gran Sala

Figura 1.12: Espacios de la planta baja (Fuente: Elaboración propia, 2025)

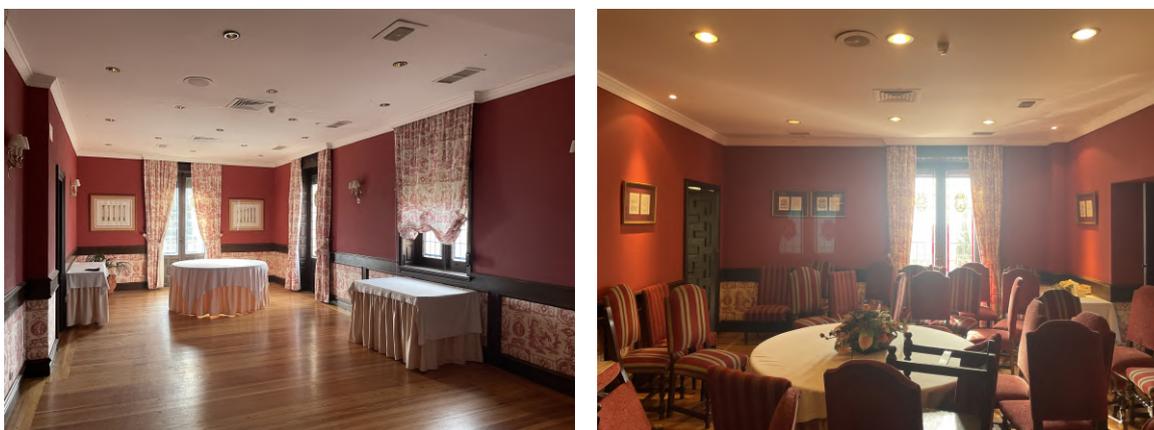
1.7 PRIMERA PLANTA

A través de una escalera lateral en el vestíbulo, se accede a la primera planta del palacio original, donde las intervenciones han sido mínimas. Las únicas modificaciones significativas se han realizado en los aseos y la cocina adicional, mientras que los muros y ventanas originales se han mantenido intactos. Como se aprecia en la Figura 1.13a, los suelos conservan el parquet original, y las paredes de las salas están revestidas con zócalos y panelados de madera, integrando entelados decorativos originales. Pese a representar un alto valor patrimonial, estos elementos suponen un obstáculo para

futuras intervenciones en las paredes interiores. Los ventanales de esta planta son mayoritariamente puertas para acceder a pequeños balcones.

Espacio	Dimensiones [m²]
Cenador de los Condes	82,32
Cocina adicional	75,94
Salón Gamazo	36,24
Despacho de Don Germán	23,36

Cuadro 1.3: Distribución primera planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



(a) Cenador de los Condes

(b) Salón Gamazo

Figura 1.13: Espacios de la primera planta (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.8 SEGUNDA PLANTA

Al igual que en la primera planta, la segunda ha sido preservada en su estado original, con mínimas intervenciones limitadas a la renovación de los aseos. Su acceso se realiza a través de las escaleras interiores. Tanto la Sala de Juntas como el Salón de los Escudos, Figura 1.14b comparten características similares con las salas de la primera planta. No obstante, a diferencia de estas, carecen de panelados decorativos, y sus ventanas son fijas y de menor tamaño, debido a la ausencia de balcones en esta planta. En esta planta se encuentra también la torre mirador, visible en la Figura 1.14a. Con una estructura de piedra caliza y un suelo de baldosas de cerámica original, esta ofrece unas vistas panorámicas de Boecillo y sus alrededores.

Espacio	Dimensiones [m²]
Salon de los Escudos	40,99
Sala de Juntas	28,76
Buhardilla	18,11
Torre mirador	23,29

Cuadro 1.4: Distribución segunda planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



(a) Torre mirador

(b) Salón de los Escudos

Figura 1.14: Espacios de la segunda planta (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.9 COMPOSICIÓN DE MUROS Y AISLAMIENTO

La construcción del Palacio se basa en muros de carga de ladrillo macizo, unidos con mortero de cal y arena, como se aprecia en la Figura 1.15a. Esta composición sencilla resulta en un escaso aislamiento térmico en comparación con sistemas constructivos más modernos.



(a) Composición de los muros

(b) Medida grosor del muro

Figura 1.15: Características muros (Fuente: Elaboración propia, 2025)

El espesor de estos muros disminuye en las alturas superiores para reducir la carga estructural: en la planta baja, los muros alcanzan un grosor de 50 cm, mientras que en la planta primera descienden a 40 cm y en la segunda a 30 cm. En términos de acabados, los revestimientos interiores consisten en una capa de yeso liso, mientras que en el exterior, los muros están recubiertos con mortero de cal y yeso, que aporta ese acabado blanco del edificio. No se observa la presencia de aislamiento térmico original. Esta información se presenta en el Cuadro 1.5, incluyendo la conductividad térmica (λ) de cada material presente⁹.

⁹Cuitiño et al. 2015.

Planta	Capa	Material	Espesor [m]	λ [W/m·K]
0	Interior	Yeso	0,015	0,35
	Muro estructural	Ladrillo + mortero	0,47	0,81
	Exterior	Mortero cal y yeso	0,015	0,87
1	Interior	Yeso	0,015	0,35
	Muro estructural	Ladrillo + mortero	0,37	0,81
	Exterior	Mortero cal y yeso	0,015	0,87
2	Interior	Yeso	0,015	0,35
	Muro estructural	Ladrillo + mortero	0,27	0,81
	Exterior	Mortero cal y yeso	0,015	0,87

Cuadro 1.5: Composición de los muros por planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

1.10 VENTANAS Y ABERTURAS

Tanto en la primera como en la segunda planta del edificio existen tres tipos de aberturas al exterior, agrupadas en el Cuadro 1.6: la primera es una puerta acristalada que da acceso a un pequeño balcón, la segunda es una ventana cuadrada abatible, y la tercera se encuentra únicamente en los aseos. Todas ellas tienen marco de madera y vidrio emplomado del mismo grosor. Sin embargo, únicamente las dos primeras cuentan con escudos decorativos.

En cuanto a su estado de conservación, muchas presentan fracturas o la pérdida de fragmentos, lo que ha permitido medir el grosor del vidrio, como se muestra en la Figura 1.16b. Asimismo, las puertas acristaladas de las terrazas presentan serios problemas de estanqueidad, debido a huecos y desajustes en el marco, los cuales, junto con el deterioro de la madera, facilitan la infiltración de aire, resultando en un incremento del consumo energético del edificio.

Tipo	Superficie [m]	Grosor [m]	Unidades
Puerta acristalada	2,00 x 1,00	0,0015	11
Ventana cuadrada	0,55 x 0,55	0,0015	15
Ventana aseos	0,88 x 0,55	0,0015	2

Cuadro 1.6: Ventanas y aberturas del Palacio (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



Figura 1.16: Detalles acristalamiento (Fuente: Elaboración propia, 2025)

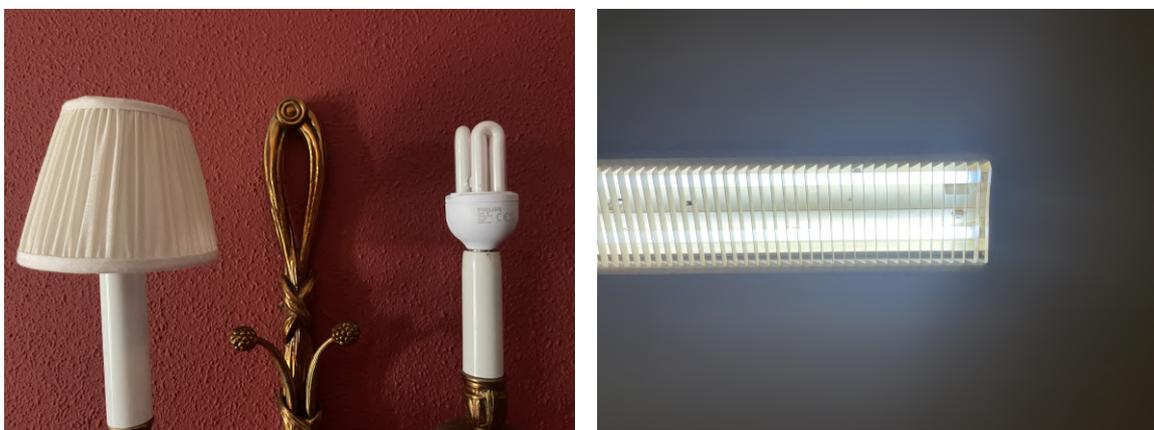
1.11 ILUMINACIÓN

En cuanto a la iluminación, el edificio cuenta con una variedad de tipos de lámparas, cuya distribución y características han sido organizadas en una tabla común. Dado que el sótano forma parte de una ampliación moderna, su alumbrado se basa exclusivamente en tubos fluorescentes (TF) de baja eficiencia, los cuales pertenecen

a la categoría G, la más baja dentro de la escala de eficiencia energética de la Unión Europea¹⁰. Por otro lado, en el resto del Palacio, la iluminación ha sido renovada recientemente, predominando las lámparas fluorescentes compactas (LFC), que ofrecen una eficiencia significativamente superior, alcanzando la categoría A en la clasificación energética. Todos estos datos se presentan en el Cuadro 1.7

Marca	Modelo	Tipo	Clase	Eficacia [lm/W]	Uds.
PHILIPS	Master 23W	LFC	A	63	371
PHILIPS	TL-D 15W	TF	G	67	116
PHILIPS	50W PAR16	HAL	G	77	69
PHILIPS	Genie 8W	LFC	A	67	38
PHILIPS	5.5W 2700K	LED	A	85	27
FOCOS	PAR30 35W	LED	F	80	35

Cuadro 1.7: Características de iluminación (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



(a) Bombilla lámpara Palacio

(b) Lámparas fluorescentes sótano

Figura 1.17: Detalles iluminación (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.12 SISTEMAS HVAC

El sistema de climatización del edificio fue modernizado junto con la obra y puesta en marcha del casino en 1985. Se trata de una solución de distribución de aire cen-

¹⁰Comisión Europea 2025d.

tralizada por conductos, visible en las rejillas de impulsión y retorno de aire en los techos de las salas principales, Figura 1.18. En este sistema un fancoil central impulsa aire climatizado a través de conductos en los falsos techos, que emerge de difusores cuadrados de impulsión, siendo luego recogido por rejillas de retorno para recircularlo o expulsarlo al exterior. Pese a que este sistema moderno proporciona un control térmico eficiente, su rendimiento energético depende en gran medida del aislamiento térmico del edificio y las filtraciones de aire debidas al estado de las ventanas y puertas. Asimismo, es necesario un estudio de la efectividad de dicho sistema debido a los indicios de humedades presentes en el falso techo, especialmente en las zonas cercanas a las rejillas de ventilación.



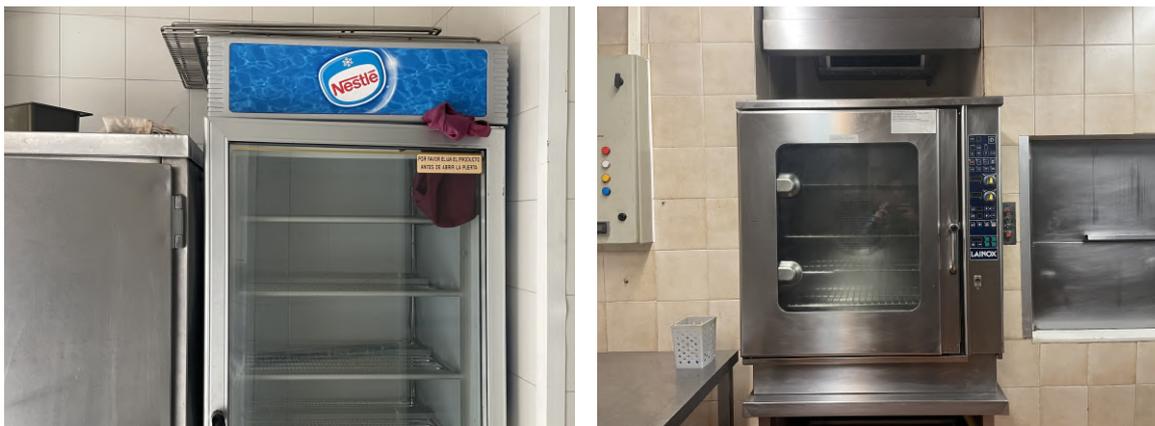
(a) Difusor cuadrado de impulsión

(b) Indicios de humedades en el falso techo

Figura 1.18: Detalles de ventilación (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.13 ELECTRODOMÉSTICOS INDUSTRIALES

Tanto en la cocina del sótano como en la pequeña cocina de apoyo en la primera planta se encuentran electrodomésticos industriales como hornos, Figura 1.19b, o frigoríferos, Figura 1.19a de mediados de los años 80. Pese a su relativa modernidad, se debe considerar la sustitución de estas instalaciones por alternativas actuales de mayor eficiencia.



(a) Frigorífero cocina de apoyo

(b) Horno cocina sótano

Figura 1.19: Electrodomésticos (Fuente: Elaboración propia, 2025)

1.14 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

El análisis del Palacio de los Condes de Gamazo ha permitido comprender tanto sus particularidades arquitectónicas, propias de su estilo neoclásico, como las modificaciones estructurales y las intervenciones modernas que, en la actualidad, influyen en su eficiencia energética. A partir de esta evaluación, se han identificado sus principales deficiencias en aislamiento térmico, iluminación y sistemas de climatización. Con esta base, en la siguiente sección se desarrollará un estudio exhaustivo del estado del arte en materia de rehabilitación energética de edificios históricos y tecnologías de modernización con las que se, respetando el valor patrimonial, se permita mejorar la eficiencia energética.

2 ESTADO DEL ARTE

Los edificios históricos representan el legado cultural de las ciudades y pueblos. A nivel europeo, un tercio¹ de los edificios datan de años anteriores a 1945, y en torno al 19 % del total de los edificios se construyeron antes de 1919. Esta situación se agrava si consideramos que cerca del 75 % de estos edificios históricos no cumplen con los estándares modernos de eficiencia energética². Pese a esta necesidad urgente, el índice de renovación sigue siendo bajo, entre el 0,4 % y el 1,2 %, lo que pone en evidencia la importancia de implementar soluciones y tecnologías modernas que mejoren la eficiencia energética sin comprometer la integridad arquitectónica.

En el presente apartado se analiza el estado del arte en materia de modernización energética en edificios históricos, focalizando el estudio en las tecnologías e innovaciones más recientes en términos de iluminación, aislamiento térmico, acristalamiento y energías renovables. Por otro lado, se examinan casos de éxito previos de edificios históricos europeos en los que se hayan implementado estrategias similares a las necesarias en este trabajo, evaluando su impacto en la reducción del consumo energético y la conservación del valor histórico y arquitectónico de las construcciones en cuestión.

2.1 TECNOLOGÍAS

Iluminación eficiente

En el ámbito de la iluminación, se ha desarrollado una tecnología que permite el uso de bombillas LED en transformadores diseñados para bombillas incandescentes sin degradar el sistema original³. Esto se logra mediante un circuito de control integrado

¹Troi y Bastian 2014.

²Comisión Europea 2025c.

³Barta 2012.

basado en un regulador de voltaje, rectificador de puente, condensador y limitador de corriente, que garantiza un suministro constante estabilizando el voltaje y la corriente. De esta manera se logra prolongar la vida útil de las lámparas y mejorar la eficiencia energética de las mismas. Esta ventaja, junto con su compatibilidad universal, permite reemplazar bombillas incandescentes por LED sin necesidad de modificar el transformador original.

Una manera efectiva de mejorar la eficiencia lumínica de un edificio consiste en automatizar el control de encendido y apagado de las lámparas. Sin embargo, los sensores de presencia más tradicionales presentan fallos en el reconocimiento de personas y tienden a apagarse erróneamente cuando el individuo está sentado o inmóvil. Estos fallos son precisamente a los que se dirige una tecnología que presenta un sistema dual de sensores piroeléctricos⁴ con filtros de infrarrojos junto con un algoritmo de procesamiento que analiza la tasa térmica corporal (0.1-2.0 Hz) para discriminar entre humanos, mascotas y artefactos, Figura 2.1. Este sistema logra una precisión del 99,2% en detección estática y reduce los casos de falso positivo a menos del 0.5%. Pese a estar diseñado para hospitales y laboratorios, donde se requiere una detección precisa, este sistema se puede considerar para edificios con el fin de minimizar el consumo eléctrico relacionado a la iluminación.

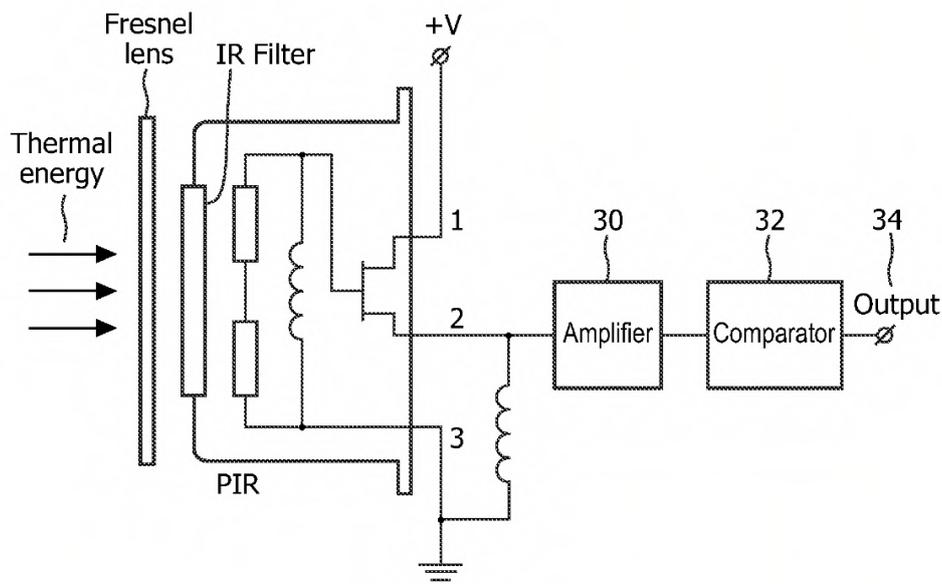


Figura 2.1: Esquema de sensor pasivo de infrarrojos (Fuente: Cennini, Chestakov y Johnson 2013)

⁴Cennini, Chestakov y Johnson 2013.

Aislamiento térmico

En el ámbito del aislamiento térmico, existen numerosas tecnologías cuyo objetivo es minimizar la conductividad térmica, consiguiendo a su vez, un espesor mínimo. En el caso de los edificios históricos, se buscan soluciones lo menos invasivas posibles para reducir el impacto visual de las mismas, por lo que el espesor de las capas de aislamiento será un criterio clave a tener en cuenta.

Con el creciente interés por la idea del *passive house*⁵, están surgiendo varias innovaciones en el aislamiento de aerogel de sílice⁶, un material altamente poroso y ultra-ligero. Además de su ligereza, otra propiedad que caracteriza a este material es su mínima conductividad térmica; esta ronda los 0,014-0,020 W/m·K, representando cerca de la mitad del valor-U en comparación con tecnologías similares, y convirtiéndolo en el mejor aislante térmico del mercado. Esto permite conseguir un aislamiento igual o mejor que otras opciones, utilizando capas ultra finas de hasta 3 mm de grosor. Además, dicho aerogel es ignífugo (Clase A1 en la normativa europea) e hidrofóbico, reduciendo los potenciales riesgos relacionados con la absorción de humedad en la envolvente del edificio.

Sin embargo, pese a las ventajas del aerogel en términos de aislamiento térmico y ligereza, su producción basada en sílice y otros materiales sintéticos presenta desafíos en cuanto a sostenibilidad y huella ambiental. Como alternativa, surgen opciones como los aislantes térmicos de micelio y subproductos forestales⁷, que, con características comparables al aerogel, son 100 % renovables, biodegradables, y liberan un 90 % menos de CO₂ en su proceso de fabricación. Dicho material cuenta con una conductividad térmica de entre 0,035 y 0,045 W/m·K, y es hidrófobo e ignífugo, al igual que sus competidores más medioambientalmente nocivos.

Por otro lado, numerosas tecnologías enfrentan el problema del aislamiento térmico proponiendo como solución la pintura aislante. Estas combinan dos capas con propiedades distintas, ofreciendo aislamiento y durabilidad a largo plazo⁸. La sencilla aplicación de este tipo de pintura exterior las convierte en alternativas interesantes

⁵ *Passivhaus Institut* 2025.

⁶ Dekoninck et al. 2014.

⁷ Amstivslavski, Yang y White 2017.

⁸ Shin 2018.

Otra solución que evita tener que sustituir los vidrios decorativos originales sería instalar algún revestimiento de baja emisividad sobre las ventanas existentes. Este tipo de revestimientos ultra-finos e incoloros son capaces de reflejar hasta un 99 % de la radiación infrarroja y ultravioleta, permitiendo el paso de luz visible, y protegiendo los muebles y obras de arte del interior de las salas frente al deterioro causado por este tipo de radiación. Un ejemplo de esta solución emplea una capa metálica ultra-fina (50-150 Å) de plata u oro para reflejar la radiación infrarroja, junto con otra capa de óxido de estaño de alta absorción que minimiza la reflectancia solar visible¹². Manteniendo una transparencia óptica de más del 80 %, esta solución logra obtener una emisividad inferior a 0,15, que resulta en una reducción de las pérdidas térmicas en invierno (-35 %) y ganancias solares en verano (-28 %).

Energías renovables

A pesar de que las intervenciones de este tipo en edificios históricos suelen priorizar las mejoras que maximicen la eficiencia térmica de la envolvente y las ventanas, es frecuente proponer opciones de energía renovable que apoyen en reducir el consumo energético. Representada en la Figura 2.3, una tecnología reciente consiste en celdas fotovoltaicas monolíticas permite aislar electrónicamente cada unidad dentro de un único sustrato, eliminando la necesidad de interconexiones complejas¹³. Este diseño mejora la conversión energética, visto que reduce las pérdidas ópticas y resistivas en comparación con sistemas tradicionales, además de facilitar la integración en superficies complejas y la personalización de configuraciones.

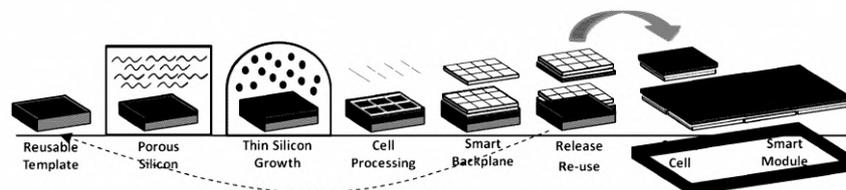


Figura 2.3: Fabricación de módulos inteligentes de células solares (Fuente: Moslehi et al. 2016)

¹²Hoffman 2006.

¹³Moslehi et al. 2016.

Por otro lado, otro enfoque interesante emplea placas reflectoras inclinadas que redirigen la luz solar hacia la cara trasera de paneles bifaciales. Este sistema optimiza la generación de energía fotovoltaica incluso en situaciones de ángulos solares bajos, como puede ser durante la mañana o el atardecer¹⁴. Aunque esta última idea implica un coste mayor, la mejora en la eficiencia y la utilización del espacio hacen que sea una solución atractiva para proyectos de alta demanda energética.

2.2 CASOS DE ÉXITO

Palazzo Medici (Pisa, Italia)

Para este primer estudio energético¹⁵, se evaluaron diversas alternativas de sistemas de iluminación para el Palazzo Medici, un edificio construido en el siglo XI, y ubicado en el centro de Pisa, a orillas del río Arno. La relevancia patrimonial de este hace que cualquier intervención a considerar tuviese que ser compatible con la arquitectura original.

La iluminación artificial de este suponía un 60% del consumo energético total, englobando tanto el uso lumínico en las oficinas públicas como la iluminación arquitectónica de fachadas y jardines. Analizando el sistema de iluminación del edificio, se encontraron 40 tipos diferentes de luminarias, pertenecientes a diversas épocas y rehabilitaciones anteriores; una de ellas se representa en la hoja de datos de la Figura 2.4b. Algunas de ellas, como pueden ser las antiguas linternas y lámparas de araña, contaban con un elevado valor histórico y artístico, mientras que otras, aunque funcionales, carecían de relevancia estética.

¹⁴Bao et al. 2020.

¹⁵Salvadori et al. 2016.



(a) Fachada del palacio

Luminaire ID	Luminaire picture	Number of luminaires for floor	Total number of luminaires
3		Ground: 5 First: 0 Second: 15	20
More frequent installation room: offices with video terminal workstations			
Luminaire description: ceiling mounted luminaires		Number of lamps: 2	
		Electrical input power (W): 136	
		Optical efficiency (%): 52	
		Electrical nominal power (W): 58	
Single lamp description: fluorescent tube		Luminous flux (lm): 5200	
		Color temperature (K): 4000	
		Color rendering index: >80	

(b) Ficha técnica de un tipo de lámpara

Figura 2.4: Detalles Palazzo Medici (Fuente: Salvadori et al. 2016)

Inicialmente, se consideraron varias opciones para mejorar la eficiencia lumínica, incluyendo la sustitución de lámparas incandescentes, fluorescentes compactas y halógenas, por alternativas de mayor eficiencia energética. Tras un análisis técnico y económico, se propuso sustituir toda la iluminación de poca relevancia patrimonial por luminarias LED, visto que, pese a tener un costo inicial más elevado, estas lámparas ofrecían un menor costo de mantenimiento y una rápida amortización. Este tipo de iluminación permitió mejorar la calidad visual en el interior de las oficinas y, debido a su baja generación de calor, no supuso un riesgo para la conservación de la pintura y los frescos en el interior.

Además de la sustitución de las fuentes de luz, se implementaron tanto sensores de luz natural como sensores de movimiento, que, en función de la luz diurna y la ocupación de las distintas salas, permitió automatizar el control del encendido y apagado de la iluminación del edificio. Con la combinación de estas dos últimas medidas, se logró una reducción del 52% en el consumo energético de la iluminación interior, con un ahorro estimado de 39,0 MWh/año.

Palazzo D'Accursio (Bologna, Italia)

El Palazzo d'Accursio¹⁶, es un edificio histórico del siglo XIII que se encuentra en la Piazza Maggiore de Bologna. Debido a su relevancia cultural e histórica, este edificio cuenta con una rígida protección por Ley Nacional de Conservación del Patrimonio Histórico. Antes de la intervención, el edificio presentaba un consumo energético anual

¹⁶Troi y Bastian 2014.

de 106 kWh/m², debido principalmente a pérdidas térmicas en los muros exteriores (45 %), las ventanas (20 %) y el techo (15 %). Además, las infiltraciones de aire representaban un problema significativo, con un índice de cambio de aire de 5,9 renovaciones por hora, sugiriendo una baja estanqueidad del aire. Para ello se emplearon técnicas como la termografía infrarroja, pruebas *blower door*, y un modelado térmico en el software Design Builder (DB), Figura 2.5.

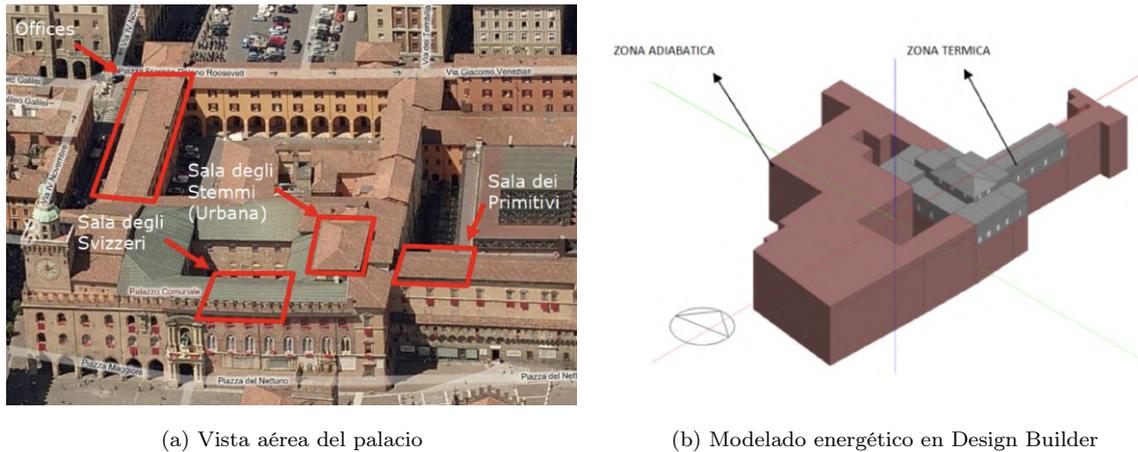


Figura 2.5: Detalles Palazzo d'Accursio (Fuente: Troi y Bastian 2014)

Una de las intervenciones más importantes en este proyecto fue la renovación completa del techo, sustituyéndolo por una cubierta ventilada con aislamiento de fibra de madera, que además de mejorar el confort térmico, evitó que los frescos interiores se deteriorasen debido a posibles infiltraciones de agua. En cuanto a las ventanas originales, se sustituyeron por modelos de doble acristalamiento con vidrio de baja emisividad. Estas ventanas incluyeron sistemas domóticos basados en el estándar KNX que automatizaron la apertura de ventanas y cortinas, permitiendo ventilar naturalmente los espacios interiores durante las noches de verano. Tras dichas intervenciones, se midió una reducción de 50 kWh/m² en la demanda de calefacción anual y de 1 kWh/m² en la refrigeración, tomando como referencia la demanda original.

Finalmente, se renovó el sistema de iluminación artificial, sustituyendo las lámparas halógenas originales por iluminación LED de tipo *wall washer*. Esta tecnología, pensada para resaltar uniformemente las pinturas interiores, redujo el consumo eléctrico en un 53 %, ofreciendo una iluminación respetuosa con los criterios de conservación patrimonial.

Palazzo dell'Áquila Bosco Lucarelli (Benevento, Italia)

El Palazzo dell'Áquila Bosco-Lucarelli¹⁷, propiedad de la Universidad de Sannio, se sitúa en Benevento, Italia, y es un edificio de estilo clásico italiano con un gran valor arquitectónico y patrimonial. Este edificio presenta una estructura de mampostería de piedra y ladrillos de arcilla, con gruesos muros de hasta 90 cm de espesor.

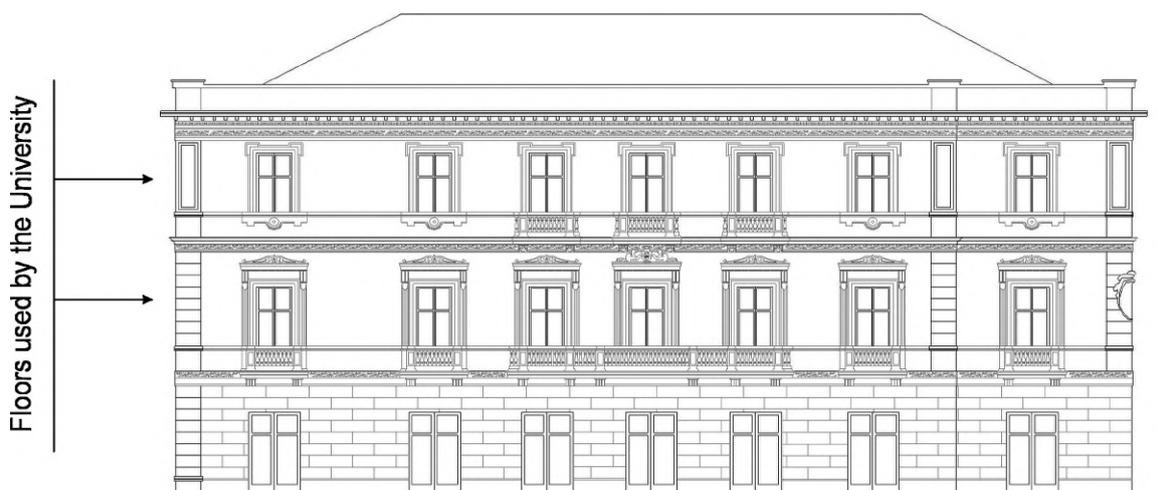


Figura 2.6: Alzado frontal del edificio (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011)

Mediante técnicas no destructivas como la termografía infrarroja, sensores de flujo térmico y modelados numéricos con el software EnergyPlus, se determinó una demanda anual de calefacción de 113,1 MWh. A esto se suma un elevado consumo eléctrico de 123,2 MWh/año, con elevados picos en verano a causa de los sistemas de refrigeración, representado en la gráfica de la Figura 2.7. Empleando la prueba blower door se obtuvo una tasa de renovación de aire de 1,2 renovaciones por hora.

¹⁷Ascione, Rossi y Vanoli 2011.

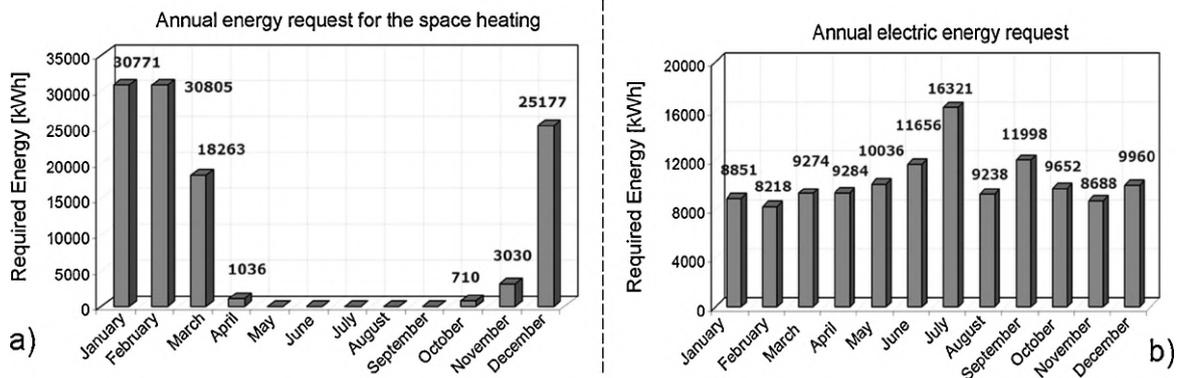


Figura 2.7: Demanda energética original (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011)

En cuanto a la hermeticidad del edificio, con la simple adición de burletes en las ventanas, se obtuvo una mejora en el sellado estructural, resultando en una reducción de 11 % en el consumo de calefacción. Además, se aplicó yeso térmico de 5 cm en las paredes interiores, con un coeficiente de conductividad de 0,058 W/mK, reduciendo la transmitancia térmica (valor-U) de 0,80 W/m²K a 0,56 W/m²K, y resultando en un ahorro adicional del 9 % en calefacción.

Sin embargo, una propuesta crítica para el ahorro energético fue la de instalar una válvula mezcladora de tres vías con control digital en cada unidad fan-coil, que permitía controlar la temperatura en las diferentes estaciones del año. La temperatura a monitorear deseada se redujo de 22°C a 20°C en invierno y se incrementó de 24°C a 26°C en verano. Con este simple cambio se logró reducir el consumo energético en torno a un 20 % en los meses invernales, y en más del 40 % en las estaciones intermedias. Con una inversión de tan solo 210 € por habitación, se calculó un coste de 0,26 € por kWh ahorrado.

Además de los ahorros energéticos, las intervenciones mencionadas, entre otras, resultaron en una reducción de emisiones de CO₂ de un 22 %, lo que implica una mejora en la certificación energética según la normativa italiana, pasando de Clase G (peor calificación) a Clase D. Con todo esto, se estimó un retorno de la inversión en 11 años, con un ahorro neto de 30.748 € en 20 años.

Palazzo Gallenga Stuart (Perugia, Italia)

Este otro palacio¹⁸ del siglo XVIII, situado en Perugia, Italia, cuenta con un estilo arquitectónico rococó, que lo convierte en uno de los pocos ejemplos de este tipo en Italia. A pesar del mencionado valor arquitectónico, el edificio presentaba deficiencias importantes en términos de eficiencia energética, debidas principalmente a una baja capacidad aislante de su envolvente y a sistemas de climatización obsoletos.

Los datos sobre la transmitancia térmica de la envolvente son los siguientes: muros exteriores 2,2 W/m²K, cubierta de tejas 2,8 W/m²K. Todas las ventanas del edificio son de doble acristalamiento con cámara de aire (3+13+3 mm). Sumando esta información a los datos climáticos de Perugia se realizó un modelado energético con EnergyPlus para entender la demanda energética del edificio.

Se adoptaron estrategias pasivas y activas centradas en preservar la estética original del palacio. Una medida clave fue la implementación de la tecnología *cool roof*, que consiste en la instalación de tejas de arcilla con una reflectancia solar del 67% y una emisividad térmica de 0,88, Figura 2.8. Estas, replicando la apariencia de las tejas originales, lograron un ahorro del 3,8% en el consumo de refrigeración total del edificio y hasta un 14% en las áreas directamente debajo del tejado.

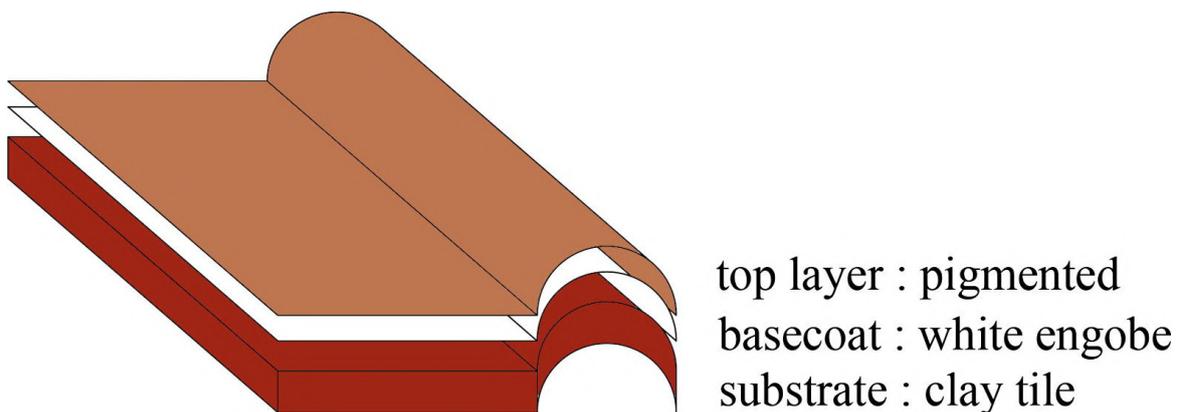


Figura 2.8: Tejas de arcilla *cool roof* (Fuente: Ascione, Rossi y Vanoli 2011)

Por otro lado, el sistema de climatización consistente en una caldera de gas se sustituyó por una bomba de calor geotérmica inteligente. Para ello, se instalaron 36 perforaciones geotérmicas de 34 metros de profundidad y 10 tanques de almacena-

¹⁸Pisello et al. 2016.

miento de 12 m³, que, optimizando el intercambio térmico con el subsuelo, redujeron el consumo energético de calefacción en un 64,3 % y el de refrigeración en un 67 %. Combinando este ahorro con el de las tejas *cool roof*, se logró reducir el consumo de calefacción y refrigeración anual en un 69,2 %.

Pese a la elevada inversión de este proyecto, el periodo de amortización estimado es de tan solo 5 años, suponiendo un ahorro anual en gastos energéticos de 66.640 €/año, y una reducción de las emisiones de CO₂ de en torno al 82 %, pasando de 166 toneladas anuales a solo 31 toneladas anuales.

Palacio del S.XVIII (Częstochowa, Polonia)

Este palacio residencial¹⁹ ubicado a las afueras de Częstochowa, Polonia, fue construido en el siglo XVIII empleando técnicas de la época: mampostería de muros de ladrillo y un acabado de yeso tradicional para las paredes. La modernización energética de este era vital para conservar su valor histórico. Sin embargo, las restricciones patrimoniales prohibían soluciones como el aislamiento exterior de poliestireno debido a la necesidad de mantener la estética original de la fachada.

Como solución a este problema se propone el uso de una fina capa de pintura térmica reflectante enriquecida con micro-esferas cerámicas de vacío, con la que se lograría reflejar hasta el 90 % de la radiación solar recibida. Además de evitar el acceso de radiación solar al edificio, esta pintura, con un coeficiente de transferencia térmica (k) de en torno a 0.1 W/m²K, reduce significativamente la pérdida de calor desde el interior, tanto para temperaturas extremas altas como bajas.

¹⁹Kruzel y Helbrych 2019.

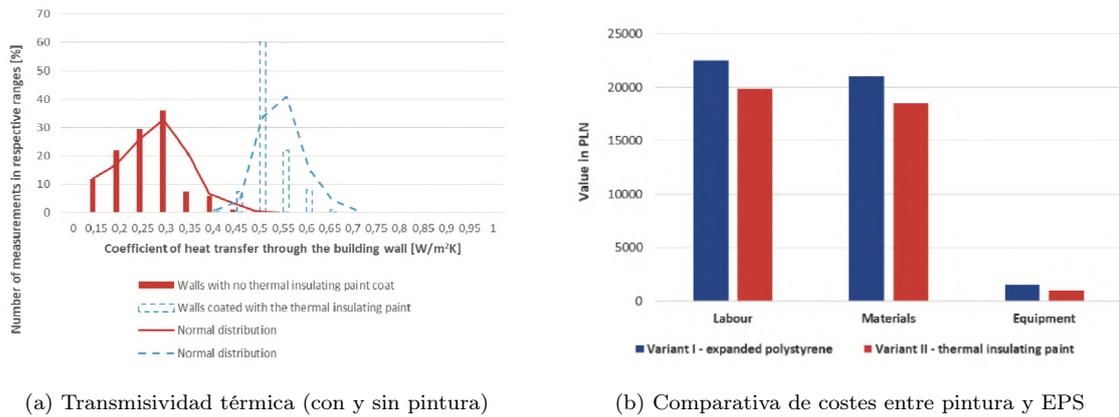


Figura 2.9: Gráficas del Palacio de Czestochowa(Fuente: Kruzel y Helbrych 2019)

Los resultados demostraron que, tras la aplicación de una fina capa de esta pintura, equivalente en aislamiento térmico a 3,88 cm de poliestireno, se logró un ahorro energético del 15 % en calefacción durante el invierno y hasta un 40 % en el consumo de aire acondicionado en verano, Figura 2.9a. Además de ser menos invasivo y tener un mantenimiento más sencillo (repintar) que el aislamiento de poliestireno expandido (EPS), esta tecnología resultó en un coste total 13,5 % inferior al del EPS, debido principalmente al ahorro en mano de obra, materiales y andamios, Figura 2.9b.

Waaghaus (Bolzano, Italia)

El Waaghaus²⁰, un edificio histórico de características romanescas construido en el siglo XIII, se encuentra en el centro histórico de Bolzano. Este edificio ha tenido múltiples usos a lo largo de los siglos, derivando en múltiples obras y reformas en épocas diferentes. Para finales del siglo XX, el edificio se encontraba desocupado y en un importante estado de deterioro, hasta que en 2009, fue adquirido por la fundación Cassa di Risparmio con el objetivo de rehabilitarlo tanto desde el punto de vista arquitectónico como energético.

El proyecto de rehabilitación se centró en mejorar la eficiencia energética del Waaghaus, preservando su valor patrimonial: ventanas de la época barroca, frescos en las paredes, etc. Para ello, se realizó un análisis exhaustivo del edificio empleando técnicas avanzadas como el Historic Building Information Modeling (hBIM), junto con inspecciones

²⁰Roberti et al. 2017.

in situ y pruebas no destructivas, como termografía infrarroja, Figura 2.10 y análisis de humedad en materiales. Estas metodologías permitieron identificar las principales fuentes de pérdida de calor: 38 % debido a la baja resistencia térmica de los muros exteriores y otro 19 % debido a las infiltraciones de aire.



Figura 2.10: Pruebas termográficas Waaghaus (Fuente: Roberti et al. 2017)

El Waaghaus contaba tanto con ventanas barrocas como con ventanas de doble acristalamiento de obras posteriores en los años 1950/60. Debido a su elevado valor patrimonial, a estas primeras se les acoplaron unas ventanas Smartwin historic de triple acristalamiento, manteniendo la apariencia exterior original, mientras que las ventanas más modernas, carentes de valor histórico, fueron simplemente sustituidas por una alternativa moderna de triple acristalamiento que reproducía las proporciones y detalles de las ventanas históricas. Únicamente esta solución permitió una reducción del consumo energético total del edificio de aproximadamente un 20 %.

En cuanto al aislamiento, dado que las superficies históricas del edificio, como los frescos y el yeso de cal, debían permanecer visibles, se optó por un aislamiento interno reversible aplicado en zonas cuidadosamente seleccionadas. El material utilizado fue iQ-Therm, un aislamiento capilarmente activo con una conductividad térmica de 0,026 W/mK, fijado con adhesivos a base de arcilla para permitir su potencial futura

retirada sin daños. Este aislamiento redujo el valor U de los muros exteriores de $1,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, minimizando las pérdidas de calor por transmisión.

Otro de los problemas identificados durante el análisis fue la alta tasa de infiltración de aire, especialmente a través de ventanas antiguas y conexiones entre muros. Para abordar esto, se instaló un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor, con una eficiencia del 85 %, que garantizó un intercambio de aire saludable y redujo significativamente las pérdidas por ventilación. La implementación de todas las intervenciones mencionadas resultó en una reducción total del consumo energético anual del 55 %. Las paredes exteriores, responsables del 38 % de las pérdidas de calor iniciales, contribuyeron de manera significativa a esta mejora gracias al aislamiento interno. Por otro lado, las simulaciones térmicas realizadas indicaron que estas medidas no solo reducían el consumo energético, sino que también incrementaban el confort térmico, especialmente en los meses de invierno.

Palazzino della Viola (Bologna, Italia)

La Palazzina della Viola²¹, construida en 1497 por Giovanni II Bentivoglio, ha tenido diversos usos a lo largo de los años, incluyendo residencia estudiantil y sede de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Bologna. Su valor histórico y artístico reside principalmente en la presencia de frescos y techos de madera pintados por artistas renacentistas como Amico Aspertini y Prospero Fontana, Figura 2.11b.



(a) Fachada Palazzina della Viola



(b) Frescos renacentistas del interior

Figura 2.11: Detalles de Palazzina della Viola (Fuente: Google Images, 2025)

²¹Troi y Bastian 2014.

Previo a la intervención, se emplearon técnicas no destructivas, como la termografía infrarroja (Figura 2.12a), pruebas *blower door* (Figura 2.12b), y radar de penetración terrestre (GPR) para identificar pérdidas energéticas, puentes térmicos y problemas de humedad en la estructura. Estas pruebas revelaron una demanda de calefacción anual de 278 kWh/m^2 , con pérdidas térmicas significativas a través de las ventanas, muros exteriores y el techo, además de una elevada infiltración de aire de 10 renovaciones por hora.



(a) Termografía infrarroja

(b) Ensayo blower door

Figura 2.12: Ensayos no destructivos (Fuente: Troi y Bastian 2014)

Para combatir la baja estanqueidad del edificio, se empezó por instalar doble acristalamiento en las ventanas de marco de madera, mientras que en las ventanas de las galerías, debido a restricciones patrimoniales, se recubrieron con láminas de protección solar para proteger los frescos de la luz UV y el calor excesivo. Además, se sustituyeron los radiadores de agua y calderas por bombas de calor de flujo de refrigerante variable (VRF) y un sistema de ventilación con recuperación de calor. De esta manera, se obtuvo una reducción del consumo de calefacción de 14 kWh/m^2 , y un índice de infiltración de aire final de 5 renovaciones por hora (reducción del 50 %).

Previo a las intervenciones, los valores de humedad interior excedían los recomendados para la conservación de las pinturas. Sin embargo, la mejora de la estanqueidad, dio lugar a valores demasiado bajos, lo que hizo necesaria la instalación de humidificadores en el sistema HVAC para evitar daños por desecación. El control de las condiciones climáticas interiores se hizo posible gracias a la instalación de una red de sensores de monitoreo ambiental inalámbricos (WSN) para medir la temperatura,

humedad e intensidad lumínica. Esta red se compone de 36 nodos con 144 sensores distribuidos estratégicamente por el edificio, que permitió controlar en tiempo real los valores críticos para la conservación del edificio.

Material Court of the Fortress (Copenhague, Dinamarca)

El Material Court of the Fortress²² es un complejo arquitectónico ubicado en Copenhague, construido en 1768 en un estilo neoclásico como almacén de materiales. Su conservación patrimonial se considera necesaria debido a su relación con la historia militar de Dinamarca y su arquitectura tradicional, con fachadas en color ocre, techos de tejas rojas y ventanas con contraventanas de madera.



Figura 2.13: The Material Court of the Fortress (Fuente: Troi y Bastian 2014)

La antigüedad del edificio, combinado con las condiciones climáticas extremas de su ubicación, daba lugar a un elevado consumo energético, con picos en los meses invernales: 97,09 MWh/año en calefacción, 71,65 MWh/año en equipos eléctricos y 25,20 MWh/año en iluminación eléctrica. Además del *blower door test* y la termografía infrarroja, se simuló el balance térmico mediante modelados energéticos utilizando software como BuildDesk Energy Program (Be06), BSIM y PHPP.

Dada la importancia de la hermeticidad del edificio, resaltada por el *blower door*, se optó por soluciones que maximizaban este criterio: Se instalaron burletes en los marcos interiores de las ventanas y una nueva barrera de vapor en el ático. Además,

²²Troi y Bastian 2014.

se añadió aislamiento térmico en el suelo de la planta baja, aprovechando la necesidad de reemplazar la pavimentación existente.

En el caso de las ventanas, debido a su valor patrimonial, la intervención se limitó a aplicar recubrimiento de baja emisividad en los cristales interiores, que mejoró el aislamiento térmico sin alterar la estética del edificio. En cuanto a la ventilación del edificio, para evitar intervenciones invasivas, se optó por ventilación natural mediante la apertura periódica de ventanas, asegurando un adecuado confort térmico en las salas principales.

Pese a la aparente ligereza de las intervenciones, optando por soluciones reversibles y poco invasivas, se consiguió reducir el consumo de calefacción en un 14 %, respecto al consumo original, y, considerando el impacto combinado de las medidas implementadas, se estimó un ahorro total de CO₂ de 4,29 %.

Escuela de Ingeniería Industrial (Béjar, España)

El edificio actual de la Escuela de Ingeniería Industrial de Béjar²³, de características modernas y constructivistas, fue construido entre 1968 y 1972. A pesar de no ser catalogado oficialmente como edificio histórico protegido, su legado cultural reside en su singular diseño y su papel clave en el desarrollo universitario de la región.

Pese a ser relativamente moderno, este edificio presentaba serios problemas de confort térmico y eficiencia energética, entre los cuales: consumo eléctrico elevado (230.000 kWh/año), bajo rendimiento en las calderas de gasoil y radiadores (eficiencia de 88,5 %), carencia de aislamiento térmico con puentes térmicos significativos en los pilares y losas, y un notable desaprovechamiento de la luz natural. La demanda de calefacción y las pérdidas de calor se estimaron utilizando herramientas y software como PHPP o TRNSYS.

La primera de las estrategias para abordar estos problemas fue la de optimizar el sistema de iluminación mediante una redistribución de las luminarias, aprovechando al máximo la luz natural. Además, se implementó un sistema automatizado de control de iluminación que consistía en sensores de presencia y luminosidad, que ajustaban la intensidad lumínica según la ocupación y las condiciones ambientales del edificio. Este

²³Troi y Bastian 2014.

cuestión, teniendo este una alta radiación solar y temperaturas suaves. A raíz de esto, la intervención en el edificio se centra en maximizar la generación de electricidad a través de paneles fotovoltaicos instalados en el tejado del palacio.



Figura 2.15: Fachada Casa Palacio de los Miranda (Fuente: Google Images, 2025)

En primer lugar, esta energía producida se destinaría al autoconsumo doméstico propio y a alimentar dos estaciones de carga de vehículos eléctricos. El excedente de energía fotovoltaica se almacenaría en una batería local o sería inyectado a la red eléctrica local. Además, el edificio incorpora características de diseño sostenible como aislamiento térmico interior de alta eficiencia y sistemas de ventilación natural y mecánica para recuperar el calor de las unidades de vivienda individuales.

2.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Tanto este último caso en la provincia de Valladolid como los analizados en otras regiones con diferentes condiciones climáticas muestran una parte del amplio abanico de estrategias posibles para la modernización energética de edificios históricos, minimizando el impacto en su valor patrimonial. A lo largo de esta sección, se han presentado soluciones innovadoras en aislamiento, iluminación, acristalamientos y energías renovables, aplicadas en contextos similares y con resultados que demuestran la viabilidad de este tipo de intervenciones. Con este marco de referencia, la siguiente sección

abordará una evaluación completa de las necesidades energéticas del Palacio; desde iluminación hasta climatización, con las que se pretende comprender las debilidades más críticas del edificio en términos de eficiencia energética con el objetivo de ponerles solución en capítulos posteriores.

3 EVALUACIÓN NECESIDADES ENERGÉTICAS

En este apartado se estudian las necesidades energéticas del Palacio de los Condes de Gamazo, repasando desde la demanda eléctrica, hasta los requerimientos de climatización y agua caliente sanitaria (ACS). En primer lugar se han listado una serie de normativas aplicables a esta fase del proyecto, y más adelante se ha procedido a determinar la demanda energética para lo que se han adaptando los métodos de cálculo a las particularidades arquitectónicas y funcionales del edificio. Para ello, se han utilizado datos reales obtenidos de forma manual en la inspección in situ del Palacio, combinados con normativas oficiales y referencias técnicas actualizadas, con el fin de obtener una estimación lo más realista posible.

3.1 NORMATIVA

En este apartado, se enumeran las normas y requerimientos técnicos necesarios para la correcta instalación de sistemas eléctricos, de climatización y de agua caliente sanitaria, teniendo siempre en cuenta las características limitantes ligadas a la antigüedad y valor histórico del edificio

Climatización y agua caliente sanitaria

- **Código técnico de la Edificación (CTE):** Este documento del Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana que establece las exigencias básicas de calidad, seguridad y habitabilidad para los edificios y sus instalaciones. Para este apartado son de especial interés los documentos DB-HE¹; que presenta las condiciones fundamentales de demanda energética (HE1), instalaciones térmicas (HE2), e

¹Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HE) Ahorro de Energía 2025.

instalaciones eléctricas (HE3), y el DB-HS²; que se centra en la salubridad de los edificios, tratando temas como la protección frente a la humedad (HS1) o la calidad del aire interior (HS3).

- **Reglamento de Instalaciones térmicas en los Edificios (RITE)**³: Este reglamento, aprobado por el Real Decreto 1027/2007 y modificado más recientemente por el Real Decreto 178/2021, se encarga de establecer diversas exigencias en materia de eficiencia energética, enfocándose en el nivel de bienestar térmico e higiene en instalación de sistemas de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.;
- **Real Decreto**⁴ **552/2019, de 27 de septiembre**: Regula el reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas, por lo que sería relevante de cara a la instalación de refrigeración en las cocinas del edificio.
- **Real Decreto**⁵ **865/2003, de 4 de julio**: Establece los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, concretando que el agua debe calentarse una temperatura superior a 60°C para poder considerarse ACS, y prevenir dicha enfermedad.
- **Boletín Oficial de Castilla y León**⁶ (**BOCyL**): En el artículo 157.3 de este boletín se eximen de deberes urbanísticos las obras tanto de aislamiento térmico como de captadores solares que reduzcan en un 30% la demanda energética anual de calefacción y refrigeración del edificio.

Instalaciones eléctricas

- **Reglamento**⁷ **Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)**: Aprobado por el Real Decreto 842/2002, establece los requisitos de diseño, ejecución y verificación de las instalaciones eléctricas de baja tensión. Se deberá tener en consideración de cara a dimensionar la demanda eléctrica del edificio.

²Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HS) Salubridad 2025.

³Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de 2007.

⁴Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Real Decreto 552 de 27 de septiembre de 2019.

⁵Ministerio de Sanidad y Consumo, Real Decreto 865 de 4 de julio de 2003.

⁶Junta de Castilla y León, Artículo 157.3 de 19 de septiembre de 2014.

⁷Ministerio de Ciencia y Tecnología, Real Decreto 842 de 2 de agosto de 2002.

- **Real Decreto⁸ 244/2019, de 5 de abril:** Establece las condiciones técnicas y administrativas del autoconsumo eléctrico, aplicable a la hora de considerar la aplicación de energía solar fotovoltaica.
- **Ley 24/2013, del Sector Eléctrico⁹:** De forma más general, se encarga de establecer el marco normativo del suministro eléctrico en España, garantizando seguridad, calidad y eficiencia en el consumo.

Eficiencia energética y edificios históricos

- **Real Decreto¹⁰ 390/2021, de 1 de junio:** Este regula el procedimiento necesario para certificar la eficiencia energética de los edificios una vez renovados; este documento es obligatorio una vez finalizada la intervención.
- **Ley¹¹ 16/1985, de Patrimonio Histórico Español:** Esta ley pone condicionantes técnicas y de intervención específicas para edificios protegidos como este caso.
- **Ley¹² 12/2002, de Patrimonio Cultural de Castilla y León:** Esta ley regula las intervenciones en bienes patrimoniales en la comunidad de Castilla y León, e incluye requisitos para rehabilitar este tipo de inmuebles.
- **Real Decreto¹³ Legislativo 7/2015, Texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana:** Aporta el marco legal para intervenciones de rehabilitación urbana.

Esta recopilación de normativas y legislación será de utilidad como base técnica para, más adelante, dimensionar adecuadamente las instalaciones del proyecto y justificarlas considerando el carácter singular de este edificio.

⁸Ministerio para la Transición Ecológica, Real Decreto 244 de 5 de abril de 2019.

⁹Jefatura del Estado, Ley 24 de 26 de diciembre de 2013.

¹⁰Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 390 de 1 de junio de 2021.

¹¹Jefatura del Estado, Ley 16 de 25 de junio de 1985.

¹²Comunidad de Castilla y León, Ley 12 de 11 de julio de 2002.

¹³Ministerio de Fomento, Real Decreto 7 de 30 de octubre de 2015.

3.2 DEMANDA ELÉCTRICA

Esta sección de dimensionamiento de la demanda eléctrica se divide en dos partes: demanda eléctrica de iluminación, en la que se presenta la potencia eléctrica en función del tipo de luminarias del edificio, y la demanda eléctrica de aparatos, en la que se incluye tanto la potencia de los electrodomésticos y aparatos de cocina, como la potencia de otros dispositivos necesarios para la explotación del negocio.

3.2.1. Demanda de Iluminación

Se ha comenzado por calcular la demanda eléctrica de iluminación actual del edificio completo, utilizando los datos recolectados durante la investigación in situ del edificio, Cuadro 1.7 del capítulo de Introducción al Edificio. Este cálculo resulta en una demanda original estimada para iluminación de 15,4 kW. Sin embargo, tres de los seis tipos de lámparas, representando un 34 % del número total de lámparas, tienen una clasificación de eficiencia *EnergyClass* de F o G en la escala de A-G, donde A es el más eficiente. Por ello, se ha utilizado como referencia la página web de Leroy Merlin¹⁴ para encontrar sustituciones de lámparas más eficientes que permitan reducir el consumo energético de cara a dimensionar la demanda eléctrica total del edificio, Cuadro 3.1.

En primer lugar, se ha decidido sustituir los tubos fluorescentes PHILIPS TL-D 15W/54, *EnergyClass* G. Además de su bajo rendimiento lumínico, contienen pequeñas cantidades de mercurio, lo que complica su gestión como residuo. La alternativa elegida ha sido un tubo LED de 8 W compatible con la instalación eléctrica existente, con las que se reduce el consumo eléctrico en aproximadamente un 47 % y se gana en calidad de luz, evitando el parpadeo molesto al encender los tubos fluorescente. Estas lámparas alternativas, con un *EnergyClass* de A, tienen una eficacia de 126 Lm/W que representa un incremento de 59 Lm/W frente a los fluorescentes originales.

Otra mejora significativa recae en la sustitución de las bombillas halógenas de 50 W, *EnergyClass* de G, por unas lámparas LED equivalentes, que requieren de tan solo 7 W para aportar la misma cantidad de lúmenes. Esta diferencia en términos de

¹⁴Leroy Merlin 2025.

eficacia lumínica permite reducir el consumo eléctrico para estas 69 lámparas en un 86 % respecto a la instalación original. Finalmente, observando la Figura 1.12b del interior iluminado de la Gran Sala, que ya de por sí carece de iluminación natural, se ha determinado que la iluminación artificial es insuficiente según criterios de confort lumínico actuales. Por ello se ha decidido sustituir las 35 bombillas de los focos del techo por unas bombillas equivalentes en potencia pero con una eficacia mayor, que pese a no reducir el consumo eléctrico, sí mejoran en un 14 % la cantidad de luz en la sala.

Lámpara original	Clase	Lámpara nueva	Clase
Foco LED 35W 2800lm	F	Foco LED 35W 3200lm	A
Halógena PAR 16 50W	G	LED PAR16 7W = 50W	A
TF TL-D 15W/54 60cm	G	Tubo LED T8 8W 60cm	A

Cuadro 3.1: Comparativa de lámparas sustituidas (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Teniendo en cuenta la sustitución de las lámparas más críticas por estas opciones más eficientes, se ha calculado de nuevo la demanda eléctrica de iluminación para cada una de las plantas del edificio. Estos cálculos, reflejados en el Cuadro 3.2, resultan en una demanda de iluminación de 12,0 kW, quedando una reducción de 22 % respecto a la instalación de lámparas original.

Planta Baja					
Marca	Tipo	Potencia [W]	Eficacia [Lm/W]	# Unidades	Potencia TOT [W]
PHILIPS	LFC	23,0	63	306	7038
PHILIPS	LFC	8,0	126	4	32
PHILIPS	LED	7,0	550	5	35
FOCOS	LED	35,0	91	34	1190
Total					8295
Planta 1					
Marca	Tipo	Potencia [W]	Eficacia [Lm/W]	# Unidades	Potencia TOT [W]
PHILIPS	LFC	23,0	63	59	1357
PHILIPS	LED	8,0	126	30	240
PHILIPS	LED	7,0	550	22	154
PHILIPS	LED	5,5	85	28	154
PHILIPS	LED	8,0	67	36	288
Total					2193
Planta 2					
Marca	Tipo	Potencia [W]	Eficacia [Lm/W]	# Unidades	Potencia TOT [W]
PHILIPS	LFC	23,0	63	29	667
PHILIPS	LFC	8,0	126	4	32
PHILIPS	LED	7,0	550	13	91
PHILIPS	LED	5,5	85	9	49,5
Total					839,5
Sótano					
Marca	Tipo	Potencia [W]	Eficacia [Lm/W]	# Unidades	Potencia TOT [W]
PHILIPS	LED	8,0	126	80	640
Total					640
Instalación de iluminación (original) [kW]					15,4
Instalación de iluminación (nueva) [kW]					12,0
Reducción de potencia [%]					22 %

Cuadro 3.2: Potencia iluminación y comparativa con original (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

3.2.2. Demanda de Aparatos

Por otro lado, se ha estimado la demanda eléctrica asociada a los electrodomésticos de cocina del edificio, así como a otros equipos de oficina y auxiliares necesarios para el funcionamiento del negocio, Cuadro 3.3. Se ha optado por mantener los aparatos de cocina existentes debido a su relativa modernidad y al elevado coste que supondría su sustitución. Sin embargo, para el resto de equipos se ha tenido en cuenta la previsión de uso futuro, empleando valores de referencia representativos para estimar su demanda eléctrica.

Aparatos de Cocina			
Aparato	# Unidades	Potencia [W]	Potencia TOT [W]
Lavavajillas Industrial	1	3400	3400
Horno Industrial	2	10400	20800
Vitrocerámica	2	2710	5420
Microondas	2	1100	2200
Cámara Frigorífica	1	1790	1790
Congelador	1	210	210
Freidora Eléctrica	1	8000	8000
Campana Extractora	2	600	1200
Cafetera Industrial	2	3350	6700
Total			49720
Aparatos de Oficina y Auxiliares			
Aparato	# Unidades	Potencia [W]	Potencia TOT [W]
Ordenadores	16	150	2400
Proyectores	8	500	4000
Altavoces y Sonido	30	110	3300
Máquinas expendedoras	2	300	600
Máquina de café	1	1100	1100
Secamanos Aseos	12	850	10200
Total			21600
Demanda eléctrica de aparatos [kW]			71,3

Cuadro 3.3: Demanda eléctrica de aparatos (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Se han elaborado los planos visibles en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 para representar los puntos de consumo eléctrico en cada una de las plantas. Se han incluido todas las cargas mencionadas en los Cuadros 3.2 y 3.3.

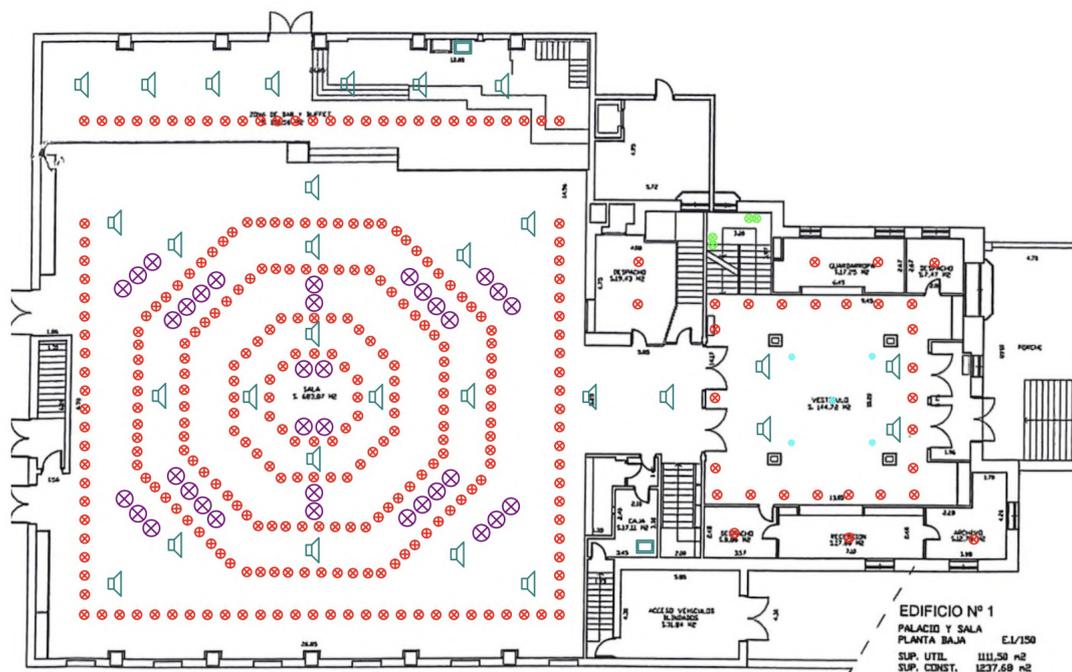


Figura 3.1: Planos puntos de consumo eléctrico Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)



Figura 3.2: Planos puntos de consumo eléctrico Planta 1 y 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

En primer lugar, para el horario de uso de la iluminación se utiliza un valor medio de 12 horas diarias, ya que la iluminación variará entre verano (10 h) e invierno (14 h). Debido a que no todas las luces estarán encendidas a la vez (aseos, almacenes, etc.), se toma un factor de simultaneidad de 0,7. Para el caso de los electrodomésticos de cocina, se tomarán valores de referencia de un restaurante; 8 horas de funcionamiento diario, incluyendo preparación, servicio y limpieza, y un factor de simultaneidad de 0,7. Finalmente, para los aparatos y equipos más relacionados con uso de oficina, como ordenadores y equipos de sonido, se ha determinado un uso horario aproximado de jornada laboral (9 h) y un factor de simultaneidad de 0,6, visto que equipos como los altavoces o proyectores estarán gran parte del tiempo apagados. En el Cuadro 3.4 se presentan los resultados estimados de consumo eléctrico, calculados utilizando la Ecuación 3.1.

Equipos	Potencia [kW]	Horas/día [h]	Simultaneidad	Consumo diario [kWh]
Cocina	49,7	8	0,8	318,08
Oficinas	21,6	9	0,7	136,08
Iluminación	12,0	12	0,8	115,20
Consumo Total				569,36

Cuadro 3.4: Estimación del consumo eléctrico diario según uso (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Cabe destacar que, dichos resultados de consumo obtenidos mediante la aplicación de factores de simultaneidad serán de utilidad de cara a dimensionar las fuentes de energía renovables más adelante, pero de ninguna manera se deben tener en cuenta para el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas. En el Cuadro 3.4 se estima el consumo en una circunstancia habitual, que no quiere decir que no haya días en los que la simultaneidad sea cercana a uno o se deban usar los equipos más horas de lo que se estima en la tabla. Para evitar caídas de tensión o sobrecargas en escenarios de ocupación máxima, se emplearan los resultados de potencia obtenidos en el Cuadro 3.2 y el Cuadro 3.3.

3.3 CLIMATIZACIÓN

Para la correcta evaluación de las cargas térmicas de cara a instalar un sistema de climatización en el Palacio de Gamazo, es necesario tener en cuenta tanto las cargas de transmisión como las cargas de ventilación¹⁵, siendo estas dos formas diferentes en las que el edificio intercambia calor con el exterior. La carga térmica total sería simplemente la suma de estas dos últimas.

3.3.1. Cargas de transmisión

La carga térmica por transmisión se refiere a la cantidad de calor que se transfiere a través de los cerramientos (muros, techos, suelos, etc.) de un espacio cerrado debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Esta carga se centra en la conducción térmica, por lo que dependerá de parámetros como el coeficiente térmico del material y la superficie de cada cerramiento. Para el cálculo de dicha carga, se emplea la Ecuación [3.2].

$$Q_T = \sum [K_i \cdot S_i \cdot (T_i - T_e)] \quad [3.2]$$

donde:

- Q_T : carga de transmisión térmica [W];
- K_i : coeficiente térmico [W/m²K];
- S_i : superficie total [m²];
- T_i : temperatura interior [°C];
- T_e : temperatura exterior [°C];
- F_i : factor de corrección de las paredes exteriores con su orientación.

En primer lugar, es necesario encontrar valores de temperaturas que garanticen que el dimensionamiento de las cargas térmicas y posterior climatización sea capaz de

¹⁵Banyeras, Ferroli y Barreras 2011.

cubrir la demanda térmica hasta en casos de frío extremo (calefacción) o calor extremo (refrigeración). Para ello, se han extraído los valores necesarios de temperaturas extremas a partir de datos de la estación meteorológica de Valladolid (Observatorio), recopilados en la *Guía de técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*¹⁶. La estación meteorológica en cuestión se encuentra a tan solo 19 km del Palacio y la diferencia de altitud con respecto al nivel del mar es de unos 6 m, por lo que los datos de temperaturas y humedad, recogidos en el Cuadro 3.5, se toman como válidos para representar las condiciones meteorológicas del entorno del Palacio.

Condiciones externas para refrigeración (verano)	
Temperatura exterior seca máxima al 1 %	33,2°C
Temperatura exterior húmeda máxima al 1 %	20°C
Condiciones externas para calefacción (invierno)	
Temperatura exterior seca mínima al 99 %	-2,8°C
Humedad relativa exterior	89 %

Cuadro 3.5: Condiciones climáticas externas (Fuente: Guía Técnica Condiciones Climáticas, 2025)

Por otro lado, para calcular la transmisión térmica de los espacios del sótano es importante averiguar la temperatura de la tierra a una altura dada por debajo del nivel del terreno. Dicha temperatura ronda la temperatura media anual¹⁷ del exterior, 12,5°C para Boecillo, con unos valores de oscilación térmica (sumados para verano y restados para invierno) que dependen de la profundidad con respecto al terreno, representados en el Cuadro 3.6.

Profundidad bajo tierra [m]	Variación de temperatura [°C]
1	± 5
2	± 3,3
3	± 2,2

Cuadro 3.6: Variación térmica en función de profundidad (Fuente: *Arquitectura subterránea* 2024)

¹⁶“Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto” 2010.

¹⁷Climate-Data.org 2025.

Visto que el suelo del sótano se encuentra a 3 m de profundidad, se ha tomado una variación térmica de 2,2°C para la tierra en contacto con el suelo del sótano, mientras que para las paredes de este se ha calculado la variación térmica como la media entre la variación a 1 m de profundidad y la variación a 2 m, resultando en 4,2°C. Estas temperaturas, representadas en el Cuadro 3.7, han sido calculadas con la Ecuación [3.3].

$$T(d) = T_{\text{media}} \pm \Delta T(d) \quad [3.3]$$

donde:

- $T(d)$: temperatura del suelo a una profundidad d [°C];
- T_{media} : temperatura media anual del entorno [°C];
- $\Delta T(d)$: amplitud de variación de temperatura con respecto al terreno [°C];

Temperaturas subterráneas [°C]		
Superficie térmica	Verano	Invierno
Suelo	14,7	10,3
Paredes exteriores	16,7	8,3

Cuadro 3.7: Temperaturas para transmisión térmica del sótano (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Conociendo los datos de temperaturas y humedad exteriores, y de cara a calcular las cargas térmicas por transmisión, es importante contrastar estos valores con las temperaturas interiores del edificio, que dependerán principalmente de si el espacio térmico está climatizado o no. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)¹⁸, citado previamente en el apartado de normativas, establece los rangos de temperatura y humedad relativa que se consideran adecuados para el confort térmico en espacios interiores. En verano, se recomienda mantener una temperatura entre 23 y 25°C, con una humedad relativa entre el 45 y el 60 %. En invierno, los valores de confort se sitúan entre 21 y 23°C, con una humedad relativa del 40 al 50 %. Sin embargo, en espacios poco transitados donde el confort térmico no es prioritario, se pueden

¹⁸Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de 2007.

conseguir ahorros energéticos significativos al no climatizarlos, permitiendo rangos térmicos más amplios, adaptados a las condiciones estacionales. Las temperaturas de los espacios no climatizados con paredes exteriores se han calculado realizando una media¹⁹ de la temperatura interior de confort y la temperatura extrema del Cuadro 3.5, mientras que la de los espacios no climatizados interiores se ha calculado como la media de esta última con la temperatura de confort climatizada. Sin embargo, para el sótano se ha establecido una temperatura constante de 22°C debido a la mínima variación térmica de este espacio. El resto de temperaturas interiores establecidas para el dimensionamiento de cargas térmicas del Palacio de Gamazo se representan en el Cuadro 3.8.

Temperatura interior [°C]			
Estación	Climatizado	No climatizado (int)	No climatizado (ext)
Verano	24	26,3	28,6
Invierno	21	15,1	9,1

Cuadro 3.8: Condiciones de confort térmico seleccionadas (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Por otro lado, conociendo la composición de los muros del edificio, Cuadro 1.5 del primer capítulo de este trabajo, es posible calcular el coeficiente térmico de las paredes exteriores de las tres plantas principales. Con la Ecuación [4.1] se calcula la resistencia térmica de cada muro exterior, teniendo en cuenta cada una de las capas que lo componen.

$$R_{\text{total}} = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} \quad [3.4]$$

donde:

- R_{total} : resistencia térmica total del cerramiento [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- e_i : espesor de la capa i del cerramiento [m];
- λ_i : conductividad térmica de la capa i [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$];

¹⁹Carnicero Príncipe 2024.

A partir de la resistencia térmica de cada muro, solo hace falta invertir la ecuación para obtener la transmitancia térmica, también conocida como coeficiente térmico, que se representa con una K mayúscula en la Ecuación [3.5] y será necesaria para el cálculo de la carga térmica por transmisión.

$$K = \frac{1}{\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{R_{\text{total}}} \quad [3.5]$$

Los valores obtenidos de las ecuaciones anteriores se representan en el Cuadro 3.9, teniendo en cuenta la diferencia de grosor de los muros por cada planta, mencionada en el primer capítulo.

Pared exterior	Espesor capa ladrillo [m]	R_{total} [m ² K/W]	K [W/m ² K]
Planta Baja	0,47	0,64	1,56
Planta 1	0,37	0,52	1,93
Planta 2	0,27	0,39	2,56

Cuadro 3.9: Transmitancia térmica de muros exteriores (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Los valores de transmitancia térmica del resto de superficies se han extraído de las tablas del Anexo 1 del Capítulo 5 del *Manual de Calefacción*²⁰. Estos coeficientes térmicos se presentan en el Cuadro 3.10, junto con los calculados en el Cuadro 3.9.

²⁰Banyeras, Ferroli y Barreras 2011.

Cerramiento	Descripción	K [W/m²K]
Pared exterior (PS)	Hormigón armado 25 cm	3,14
Pared exterior (PB)	Yeso + ladrillo 47 cm + mortero cal y yeso	1,56
Pared exterior (P1)	Yeso + ladrillo 37 cm + mortero cal y yeso	1,93
Pared exterior (P2)	Yeso + ladrillo 27 cm + mortero cal y yeso	2,56
Pared interior	Ladrillo 9 cm enlucido ambas caras	2,91
Puerta exterior	Puerta sencilla de 6,3 cm	1,9
Puerta interior	Puerta de madera sencilla	4,07
Ventana exterior	Ventana de cristal sencillo, marco madera	5,82
Techo Palacio	Teja sobre subtejado madera 2 cm	1,42
Suelo (PS)	Suelo de hormigón sobre tierra apisonada	2,33
Suelo (PB)	Forjados cerámicos 12 cm + hormigón 4 cm	2,33
Suelo (P1 y P2)	Parquet madera dura 2 cm	1,87

Cuadro 3.10: Transmitancia térmica de cerramientos (Fuente: Banyeras, Ferroli y Barreras 2011)

A partir de los valores de transmitancia térmica indicados en el Cuadro 3.10, y aplicando la Ecuación 3.2, se han calculado las cargas térmicas por transmisión. Para ello, se ha considerado la superficie de cada cerramiento (pared, techo o suelo) y la diferencia de temperatura entre sus caras. Los resultados detallados se recogen en las tablas correspondientes a cada planta, incluidas en el Anexo B.

Debido a que la Ecuación 3.2 no contempla ciertos efectos que incrementan las pérdidas térmicas reales como la orientación o el número de superficies exteriores del espacio, los valores de carga térmica por transmisión se han multiplicado por un factor de corrección $(1+F)^{21}$. El factor F depende tanto de la orientación de las paredes de cada espacio, sumando 0,06 a F si alguna de las paredes exteriores tiene orientación Norte, y el número de paredes exteriores, sumando 0,05 si dos o más muros del espacio están en contacto con el exterior. Además, al factor F de los espacios de la segunda planta se le ha sumado un suplemento de 0,02 por estar más expuestos al exterior que el resto de plantas del edificio. En cambio, para las cargas del sótano, al carecer de

²¹Banyeras, Ferroli y Barreras 2011.

caras en contacto con el exterior, no ha sido necesaria esta corrección. Estos valores de carga térmica corregidos se representan en las siguientes tablas: Cuadro 3.11 para la planta baja, Cuadro 3.12 para la primera planta, Cuadro 3.13 para la segunda planta y Cuadro 3.14 para el sótano.

Planta Baja							
Espacio	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]	Norte	>2 Ext.	1+F	Q_T^* (V) [W]	Q_T^* (I) [W]
Gran Sala + Rest.	18148.2	46948.6	0.06	0.05	1.11	20144.51	52112.96
Vestíbulo	2075.23	5366.24	0	0	1	2075.23	5366.24
Acceso Vehículos	1106.03	2861.26	0	0.05	1.05	1161.33	3004.32
Recepción	911.21	2357.3	0	0	1	911.21	2357.27
Guardarropa	811.66	2099.72	0	0	1	811.66	2099.72
Archivo	609.86	1577.67	0	0.05	1.05	640.35	1656.56
Caja	490.3	1261.49	0	0	1	490.31	1261.49
DespachoNO	307.7	795.3	0	0	1	307.7	795.3
DespachoSE	614.15	1588.77	0	0.05	1.05	644.86	1668.21
DespachoNE	365.23	944.83	0	0	1	365.23	944.83
Montacargas	907.54	2347.77	0	0.05	1.05	952.92	2465.16
Total	26347.11	68148.94				28505.29	73732.06

Cuadro 3.11: Cargas transmisión térmica corregida - Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Planta 1							
Espacio	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]	Norte	>2 Ext.	1+F	Q_T^* (V) [W]	Q_T^* (I) [W]
Cenador Condes	2724.3	7040.4	0.06	0.05	1.11	3023.94	7814.83
Salón Gamazo	1129.8	2921.2	0	0	1	1129.84	2921.15
Despacho D.Germán	1356.7	3509.6	0	0.05	1.05	1424.50	3685.13
Cocina adicional	1090.6	2831.6	0.06	0.05	1.11	1210.56	3143.02
Vestíbulo	580.85	1495.1	0	0	1	580.85	1495.13
Pasillo	248.04	638.15	0	0	1	248.04	638.15
Aseos Caballeros	276.61	714.31	0	0	1	276.61	714.31
Aseos Señoras	223.06	575.8	0	0	1	223.06	575.80
Montacargas	775.3	2005.7	0.06	0.05	1.11	860.58	2226.29
Total	8405.24	21731.79				8977.99	23213.81

Cuadro 3.12: Cargas transmisión térmica corregida - Planta 1 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Planta 2							
Espacio	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]	Norte	>2 Ext.	1+F	Q_T^* (V) [W]	Q_T^* (I) [W]
Salón de los Escudos	2574.4	6659.9	0.06	0.05	1.13	2909.09	7525.70
Sala de Juntas	1824.2	4413.8	0.00	0.00	1.02	1860.65	4502.05
Buhardilla	984.9	2548.0	0.00	0.05	1.07	1053.80	2726.40
Archivo	687.0	1777.5	0.06	0.05	1.13	776.30	2008.61
Vestíbulo	1066.2	2760.7	0.06	0.00	1.08	1151.46	2981.54
Pasillo	628.1	1630.5	0.00	0.00	1.02	640.69	1663.16
Aseos	530.0	1369.6	0.00	0.00	1.02	540.55	1397.02
Total	8294.68	21160.11				8932.54	22804.47

Cuadro 3.13: Cargas transmisión térmica corregida - Planta 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Sótano		
Espacio	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Cocina	2721.68	4812.46
Comedor principal	991.29	1609.37
Despacho Jefe Cocina	1412.26	2750.39
Despensa	487.47	909.18
Torre refrigeración	828.05	1636.04
Aire acondicionado	930.21	1696.42
Cuarto	1426.69	1948.27
Pasillo principal	2450.33	3346.15
Vestuario Cocina Caballeros	251.79	343.85
Vestuario Cocina Señoras	251.79	343.85
Cabina Seguridad	278.23	379.95
Aseos Sala Caballeros	2239.58	4384.03
Aseos Sala Señoras	2015.96	4329.65
Aseos Vestíbulo	1171.05	2244.46
Vestuario Seguridad	576.40	787.12
Cámara Acorazada	890.16	1215.60
Botiquín	393.93	631.36
Cuarto Mantenimiento	512.26	699.53
Almacén Juego	373.57	510.15
Técnico Máquinas Azar	1104.60	1904.13
Almacén Hostelería	1002.19	1368.58
Vestuarios Hostelería	386.36	527.61
Cuarto Limpieza	309.00	421.97
Comité de Empresa	677.79	1369.98
Sala Descanso Croupiers	1567.14	2773.18
Vestuario Croupiers Caballeros	1721.93	2728.88
Vestuario Croupiers Señoras	947.90	1665.79
Pasillo Secundario	200.22	273.42
Total	28119.85	47611.37

Cuadro 3.14: Cargas transmisión térmica - Sótano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

3.3.2. Cargas de ventilación

Teniendo las cargas térmicas por transmisión, es necesario evaluar también las cargas térmicas por ventilación. Estas se refieren a las pérdidas o ganancias de calor del edificio con respecto al exterior a través de renovaciones de aire interiores. Para el cálculo de estas cargas se hace uso de la Ecuación [3.6].

$$Q_V = \dot{m}_V \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [3.6]$$

donde:

- Q_V : carga térmica debida a ventilación [W];
- \dot{m}_V : caudal másico del aire [kg/s];
- C_p : capacidad calorífica específica del aire [J/(kg·K)];
- ΔT : diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior [°C].

La capacidad calorífica específica del aire (C_p) vale 1012 J/kg°C, y la diferencia de temperatura entre el espacio y el exterior se toma en todo caso con las referencias de temperaturas del Cuadro 3.5 de condiciones externas de temperatura para refrigeración y calefacción: 33,2°C y -2,8°C, respectivamente. Sin embargo, para el caudal másico del aire se requiere un cálculo previo que involucra multiplicar la densidad del aire ($\rho = 1,204 \text{ kg/m}^3$) por un valor de caudal volumétrico del aire (\dot{V}_v) que se obtiene mediante la multiplicación del número de ocupantes de cada espacio por un valor de calidad del aire interior (IDA). Estos valores IDA, representados en el Cuadro 3.15 los establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios²², y presentan cuatro clases de calidad del aire interior diferentes según el tipo y utilidad del espacio.

Clase IDA	m ³ /s por persona	Descripción
IDA 1	0.02	Aire de óptima calidad: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	0.0125	Aire de buena calidad: oficinas, residencias, salas lectura, museos y similares.
IDA 3	0.008	Aire de calidad media: edificios comerciales, cines, restaurantes y similares.
IDA 4	0.005	Aire de calidad baja.

Cuadro 3.15: Clases de calidad del aire interior (IDA) (Fuente: Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de 2007)

Debido a la utilidad principal del Palacio como edificio comercial y restaurante, se ha elegido una clase IDA 3 (aire de calidad media) para todos los espacios del edificio que se encuentran por encima del nivel cero del terreno: planta baja, planta 1 y planta 2. En el caso del sótano, se ha elegido un IDA 2 (aire de buena calidad) para las salas

²²Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de 2007.

principales en las que se desarrollará el negocio, y un IDA 3 para el resto de espacios (cocina, comedor, despensa y aseos).

En cuanto a la ocupación de las salas principales (Gran Sala, Salón Gamazo, etc.), se ha tomado como referencia un documento de especificaciones comerciales del edificio que acuerda la capacidad máxima de comensales en cada una de estas salas. Pese a que estas salas no van a tener aforo completo en todo momento, se han utilizado estos valores de capacidad máxima para el dimensionamiento del sistema de climatización de forma que éste pueda suplir la demanda térmica necesaria en estos escenarios extremos. Para el resto de espacios de los que no se dispone de dicha información, se ha estimado el número de ocupantes según la superficie y el uso comercial de cada uno de estos. El cálculo de estas cargas de ventilación, junto con el resultado para verano e invierno se representa en los Cuadros 3.16, 3.17, 3.18, y 3.19, para la planta baja, planta 1, planta dos y sótano, respectivamente.

Planta Baja								
Espacio	# Ocup.	IDA	\dot{V}	\dot{m}	ΔT_V	ΔT_I	Q_V (V) [W]	Q_V (I) [W]
Gran Sala + Rest.	800	0.008	6.40	7.71	9.2	23.8	71742.22	185594.00
Vestíbulo	100	0.008	0.80	0.96	9.2	23.8	8967.78	23199.25
Acceso Vehículos	5	0.008	0.04	0.05	4.6	11.9	224.19	579.98
Recepción	3	0.008	0.02	0.03	4.6	11.9	134.52	347.99
Guardarropa	3	0.008	0.02	0.03	4.6	11.9	134.52	347.99
Archivo	2	0.008	0.02	0.02	4.6	11.9	89.68	231.99
Caja	2	0.008	0.02	0.02	4.6	11.9	89.68	231.99
DespachoNO	1	0.008	0.01	0.01	4.6	11.9	44.84	116.00
DespachoSE	1	0.008	0.01	0.01	9.2	23.8	89.68	231.99
DespachoNE	3	0.008	0.02	0.03	9.2	23.8	269.03	695.98
Montacargas	2	0.008	0.02	0.02	4.6	11.9	89.68	231.99
Total							81875.81	211809.15

Cuadro 3.16: Carga térmica por ventilación – Planta Baja (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Planta 1								
Espacio	# Ocup.	IDA	\dot{V}	\dot{m}	ΔT_V	ΔT_I	Q_V (V) [W]	Q_V (I) [W]
Cenador de los Condes	56	0.008	0.45	0.54	9.2	23.8	5021.96	12991.58
Salón Gamazo	22	0.008	0.18	0.21	9.2	23.8	1972.91	5103.83
Despacho Don Germán	12	0.008	0.10	0.12	9.2	23.8	1076.13	2783.91
Cocina adicional	20	0.008	0.16	0.19	4.6	11.9	896.78	2319.92
Vestíbulo	10	0.008	0.08	0.10	4.6	11.9	448.39	1159.96
Pasillo	5	0.008	0.04	0.05	4.6	11.9	224.19	579.98
Aseos Caballeros	3	0.008	0.02	0.03	9.2	23.8	269.03	695.98
Aseos Señoras	3	0.008	0.02	0.03	9.2	23.8	269.03	695.98
Montacargas	2	0.008	0.02	0.02	4.6	11.9	89.68	231.99
Total							10268.10	26563.14

Cuadro 3.17: Carga térmica por ventilación – Planta 1 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Planta 2								
Espacio	# Ocup.	IDA	\dot{V}	\dot{m}	ΔT_V	ΔT_I	Q_V (V) [W]	Q_V (I) [W]
Salón de los Escudos	30	0.008	0.24	0.29	9.2	23.8	2690.33	6959.77
Sala de Juntas	18	0.008	0.14	0.17	9.2	23.8	1614.20	4175.86
Buhardilla	1	0.008	0.01	0.01	4.6	11.9	44.84	116.00
Archivo	2	0.008	0.02	0.02	4.6	11.9	89.68	231.99
Vestíbulo	10	0.008	0.08	0.10	4.6	11.9	448.39	1159.96
Pasillo	5	0.008	0.04	0.05	4.6	11.9	224.19	579.98
Aseos	3	0.008	0.02	0.03	9.2	23.8	269.03	695.98
Total							5380.67	13919.55

Cuadro 3.18: Carga térmica por ventilación – Planta 2 (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Sótano								
Espacio	# Ocup.	IDA	\dot{V}	\dot{m}	ΔT_V	ΔT_I	$Q_V (V)[W]$	$Q_V (I)[W]$
Cocina	30	0.008	0.24	0.29	11.2	24.8	3275.19	7252.20
Comedor principal	20	0.008	0.16	0.19	11.2	24.8	2183.46	4834.80
Despacho Jefe Cocina	10	0.0125	0.13	0.15	11.2	24.8	1705.83	3777.19
Despensa	5	0.008	0.04	0.05	11.2	24.8	545.86	1208.70
Cuarto	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Vest. Cocina Cab.	3	0.0125	0.04	0.05	11.2	24.8	511.75	1133.16
Vest. Cocina Sras.	3	0.0125	0.04	0.05	11.2	24.8	511.75	1133.16
Cabina Seguridad	1	0.0125	0.01	0.02	11.2	24.8	170.58	377.72
Aseos Sala Caballeros	10	0.008	0.08	0.10	11.2	24.8	1091.73	2417.40
Aseo Sala Señoras	10	0.008	0.08	0.10	11.2	24.8	1091.73	2417.40
Aseos Vestíbulo	10	0.008	0.08	0.10	11.2	24.8	1091.73	2417.40
Almacén Juego	10	0.0125	0.13	0.15	11.2	24.8	1705.83	3777.19
Técnico Máquinas Azar	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Almacén Hostelería	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Vest. Hostelería	3	0.0125	0.04	0.05	11.2	24.8	511.75	1133.16
Comité de Empresa	10	0.0125	0.13	0.15	11.2	24.8	1705.83	3777.19
Sala Desc. Croupiers	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Vest. Croupiers Cab.	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Vest. Croupiers Sras.	20	0.0125	0.25	0.30	11.2	24.8	3411.65	7554.38
Pasillo secundario	5	0.008	0.04	0.05	11.2	24.8	545.86	1208.70
Total							38319.70	84850.77

Cuadro 3.19: Carga térmica por ventilación – Sótano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Finalmente, para obtener las cargas térmicas totales, únicamente hace falta sumar las cargas de transmisión térmicas corregidas y las cargas térmicas por ventilación. Esta suma se representa en el Cuadro 3.20 para refrigeración en verano y en el Cuadro 3.21 para calefacción en invierno, para cada una de las cuatro plantas del edificio.

Demanda térmica total por planta (verano)			
Planta	Q_T^* [kW]	Q_V [kW]	$Q_{\text{Total}} = Q_T^* + Q_V$ [kW]
Planta Baja	28,51	81,88	110,39
Planta 1	8,98	10,27	19,25
Planta 2	8,93	5,38	14,31
Sótano	28,12	38,32	66,44
Total			210,39

Cuadro 3.20: Demanda térmica total por planta en verano (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Demanda térmica total por planta (invierno)			
Planta	Q_T^* [kW]	Q_V [kW]	$Q_{\text{Total}} = Q_T^* + Q_V$ [kW]
Planta Baja	73,73	211,81	285,54
Planta 1	23,21	26,56	49,77
Planta 2	22,80	13,92	36,72
Sótano	47,61	84,85	132,46
Total			504,49

Cuadro 3.21: Demanda térmica total por planta en invierno (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Por último, se ha verificado la coherencia de estos resultados cogiendo 120 W/m^2 como valor de referencia aproximado de la demanda térmica de calefacción para edificios antiguos sin aislamiento térmico en las paredes exteriores²³. Sabiendo que el espacio útil total del edificio es de $2968,44 \text{ m}^2$, multiplicándolo por el valor de carga térmica de referencia se obtiene una demanda de calefacción estimada de $356,21 \text{ kW}$, que difiere tan solo en un $41,6 \%$ del valor máximo obtenido analíticamente para invierno, lo que lo acercaría incluso más en estaciones intermedias.

²³Speake et al. 2023.

3.4 AGUA CALIENTE SANITARIA

En este apartado se estimará la demanda de agua caliente sanitaria de la vivienda, con el objetivo de calcular la energía requerida para calentarla. Esto permitirá dimensionar adecuadamente la bomba de calor, más adelante, que cubra tanto las necesidades de climatización como las de ACS.

En primer lugar, es necesario averiguar la demanda de agua fría y ACS de los diferentes aparatos del edificio. Esta información se extrae del documento básico de la CTE relacionado con salubridad, más concretamente del apartado número 4 (HS4), centrado en el suministro de agua²⁴. La parte necesaria de dichos datos se representa en el Cuadro 3.22.

Caudales instantáneos mínimos por tipo de aparato		
Tipo de aparato	Agua fría [dm³/s]	ACS [dm³/s]
Lavamanos	0,05	0,03
Inodoro con cisterna	0,10	–
Urinario con cisterna	0,04	–
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas industrial	0,25	0,20

Cuadro 3.22: Caudales instantáneos mínimos por tipo de aparato (Fuente: CTE (HS) Salubridad, 2025)

Para el correcto dimensionamiento de la demanda de ACS en el edificio, se ha enumerado en el Cuadro 3.23 la cantidad de aparatos en el edificio, separados por tipo y por planta. En el caso del sótano, el número de aparatos ha sido modificado en base al uso futuro de esta planta, que se expondrá más adelante en este trabajo. Para ello, se ha identificado un excedente de aseos y vestuarios, relacionado con la cantidad de personal del anterior Casino de Castilla y León, por lo que tres de estos han sido excluidos del cálculo de demanda de agua en vista de este proyecto.

²⁴Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HS) Salubridad 2025.

Esta cantidad de aparatos se multiplica por la cantidad mínima de caudal, Cuadro 3.22, en base al tipo de cada uno de ellos. El desarrollo de dicho cálculo, junto con el resultado de demanda total instantánea de 5,60 l/s se representan en el Cuadro 3.24.

Número de aparatos por planta					
Tipo de aparato	Planta Baja	Planta 1	Planta 2	Sótano	Total
Lavamanos	0	3	2	21	26
Inodoro con cisterna	0	2	1	22	25
Urinario con cisterna	0	1	2	10	13
Fregadero no doméstico	2	2	0	4	8
Lavavajillas industrial	0	0	0	1	1

Cuadro 3.23: Número total de aparatos por planta (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Caudal total instantáneo requerido por tipo de aparato			
Tipo de aparato	Cantidad [ud.]	Caudal mínimo [dm³/s]	Q_T [l/s]
Lavamanos	26	0,03	0,78
Inodoro con cisterna	25	0,10	2,50
Urinario con cisterna	13	0,04	0,52
Fregadero no doméstico	8	0,20	1,60
Lavavajillas industrial	1	0,20	0,20
Total			5,60

Cuadro 3.24: Caudal total según número de aparatos (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

El caudal total instantáneo anterior ha sido dimensionado tomando el caso de demanda más desfavorable, que se refiere al momento en el que todos los aparatos mencionados se utilicen de forma simultánea. Más adelante, este resultado será precisamente el que se utilice para dimensionar el sistema de ACS necesario para el edificio sin subestimar la demanda de caudal.

Conociendo la demanda de caudal, es necesario también averiguar la demanda de ACS en términos de potencia térmica requerida, que vendrá determinada a partir del

uso y ocupación de cada una de las salas. Para simplificar los cálculos de esta estimación, se ha repartido el edificio en sus cuatro plantas, Cuadro 3.25. Para determinar el número máximo de ocupantes en cada una de las plantas se han empleado documentos comerciales con información relativa al aforo límite de los salones principales. En cambio, para las salas y despachos secundarios, se ha estimado el número de ocupantes teniendo en cuenta el uso futuro de cada uno de ellas.

Por otro lado, los datos de demanda de ACS por persona se han extraído de una tabla orientativa incluida en el Anexo F del Documento Básico (HE) de Ahorro de Energía del CTE²⁵, que detalla el consumo según los distintos usos del residencial privado. En esta simplificación se ha asignado un uso aproximativo a cada planta según el uso esperado a futuro; la planta baja y el sótano se han considerado como oficinas, con una demanda diaria de 2 litros por persona, mientras que las dos plantas superiores se han considerado como restaurante, con una demanda de 8 litros diarios por comensal. Finalmente, la suma de la demanda diaria total de ACS en un caso desfavorable de ocupación límite es de 4008 l/día.

Demanda diaria de ACS				
Planta	Ocupantes	Uso aprox.	Demanda [l/día/pers.]	Q_D [l/día]
Planta Baja	922	Oficinas	2	1844
Planta 1	139	Restaurante	8	1112
Planta 2	69	Restaurante	8	552
Sótano	250	Oficinas	2	500
Total	1380			4008

Cuadro 3.25: Demanda de ACS en función del uso y ocupación (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

Para convertir el caudal calculado anteriormente en ACS, se ha de determinar la potencia térmica necesaria que permita calentarlo hasta una temperatura de 60°C. Para ello, se ha empleado la Ecuación [3.7], sabiendo que la densidad del agua es de 1 kg/l y su calor específico es de 4186 J/kgK. En el caso de la diferencia de temperatura, la temperatura de salida será constante de 60°C, mientras que la de entrada,

²⁵Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HE) Ahorro de Energía 2025.

corresponderá a la temperatura de la red de ACS que variará según la temperatura exterior del entorno. De nuevo, se ha utilizado el Documento Básico (HE) de Ahorro de Energía²⁶, como referencia para los datos térmicos mensuales de la red de ACS para la provincia de Valladolid.

$$P = Q_D \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [3.7]$$

donde:

- P : potencia térmica necesaria para ACS [W];
- Q_D : caudal volumétrico de agua caliente sanitaria [l/s];
- ρ : densidad del agua, aproximadamente 1 [kg/l];
- c_p : calor específico del agua, aproximadamente 4186 [J/(kg·K)];
- ΔT : diferencia de temperatura entre entrada y salida del agua [K].

El desarrollo del cálculo de la demanda media de potencia térmica para cada mes se detalla en el Cuadro 3.26. A este cálculo se le ha sumado un factor de seguridad equivalente al 10 % de la potencia, que representa las pérdidas térmicas en acumuladores y redes de distribución.

Demanda energética mensual de ACS (potencia media)								
Mes	Días	Q_D [l/día]	ρ [kg/l]	c_p [J/kg·K]	T_{60} [°C]	T_{red} [°C]	Pérdidas	P_{mes} [kW]
Enero	31	4008	1	4186	60	6	1,10	11,53
Febrero	29	4008	1	4186	60	8	1,10	11,11
Marzo	31	4008	1	4186	60	9	1,10	10,89
Abril	30	4008	1	4186	60	10	1,10	10,68
Mayo	31	4008	1	4186	60	12	1,10	10,25
Junio	30	4008	1	4186	60	15	1,10	9,61
Julio	31	4008	1	4186	60	18	1,10	8,97
Agosto	31	4008	1	4186	60	18	1,10	8,97
Septiembre	30	4008	1	4186	60	16	1,10	9,40
Octubre	31	4008	1	4186	60	12	1,10	10,25
Noviembre	30	4008	1	4186	60	9	1,10	10,89
Diciembre	31	4008	1	4186	60	7	1,10	11,32

Cuadro 3.26: Potencia térmica media mensual de ACS (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

²⁶Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HE) Ahorro de Energía 2025.

A partir de estos resultados de potencia demandada media para cada mes se ha trazado la gráfica representada en la Figura 3.4, que permite visualizar de forma clara la variación de la demanda energética mensual como función de la diferencia térmica. En la gráfica se observa que la demanda energética alcanza su valor mínimo durante los meses de julio y agosto, mientras que se eleva hasta un máximo en enero, debido a la mayor diferencia térmica entre la temperatura exterior y los 60°C exigidos por la normativa. Este valor máximo de 11,53 kW será el que se considere para el dimensionamiento de la caldera.

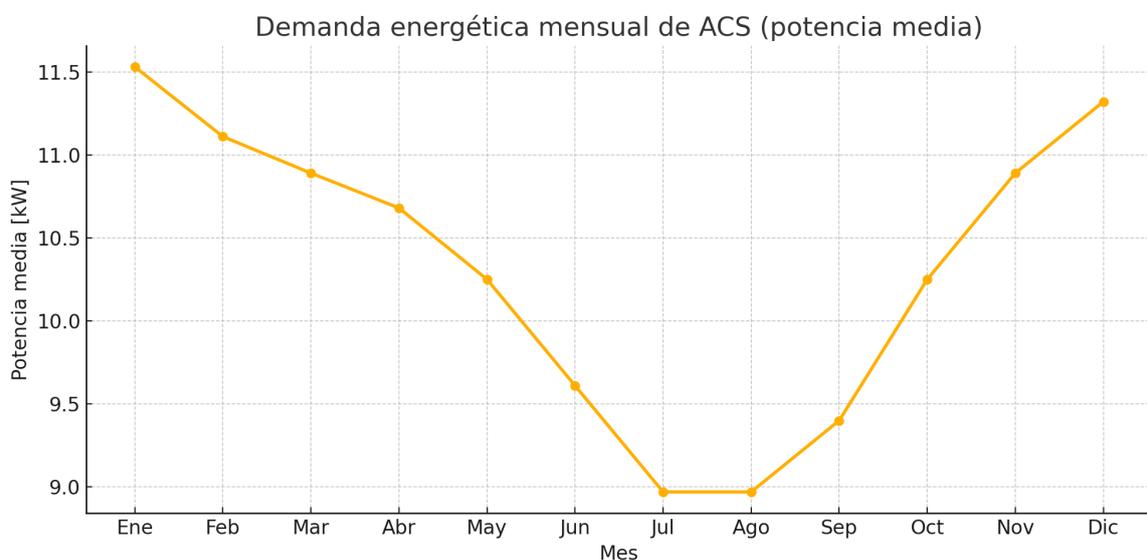


Figura 3.4: Demanda energética media mensual de ACS (Fuente: Elaboración Propia, 2025)

3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

A lo largo de esta sección se ha caracterizado la demanda energética global del Palacio, teniendo en cuenta su uso comercial mixto y las singularidades propias de un edificio histórico de estas dimensiones. El resultado obtenido servirá como base técnica sobre la que estudiar diversas estrategias que permitan reducir la demanda. Estas tecnologías se elegirán manteniendo los objetivos originales en mente: optimizar el consumo energético del edificio, reducir su impacto ambiental y preservar en todo momento la integridad estructural y arquitectónica del Palacio.

4 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

En este apartado se detallan las tecnologías escogidas para mejorar la eficiencia energética del Palacio de los Condes de Gamazo. En primer lugar se estudian las mejoras en términos de comportamiento térmico: por un lado se escoge la opción de aislamiento más adaptada a las necesidades de los muros del edificio, y por otro lado se presentan las soluciones escogidas para modernizar los cerramientos del edificio, tanto ventanas como puertas acristaladas. Teniendo en cuenta estas renovaciones, se recalcula la demanda térmica del edificio con los nuevos valores de resistividad térmica de los muros y cerramientos. Finalmente, con esta nueva demanda, inferior a la anterior a causa de las diversas modernizaciones, será la que se utilizará para plantear la solución de caldera más adecuada para las necesidades del edificio.

4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

En términos de aislamiento térmico, se han propuesto diversas opciones comerciales basadas en los descubrimientos previos presentados en el capítulo del Estado del Arte, buscando obtener el menor grosor posible debido a las características del edificio. Entre las siguientes opciones, mostradas en el Cuadro 4.1, se ha incluido: una opción de alta gama ultradelgada, compuesta de aerogel de sílice; dos opciones sostenibles, una siendo un rollo de polyester 100 % reciclado, y la otra compuesta de micelio con residuos vegetales; y finalmente dos pinturas térmicas, una de base acrílica normal y otra con inclusión de microesferas de vidrio, aportándole mejores propiedades aislantes.

Opción	Tipo	Grosor [mm]	λ [W/mK]	Precio [€/m ²]
PROCTOR Spacetherm	Aerogel de sílice	10	0,0195	70
SUPASOFT Roll	Polyester reciclado	50	0,040	5
MYKOR MykoSlab	Micelio + biomasa	40	0,040	35-50
ARELUX Termic (3 capas)	Pintura térmica	1x3	0,056	8
EGA Fonothermal (3 capas)	Pintura + microesferas	1x3	~0,040	8,5

Cuadro 4.1: Comparativa de soluciones de aislamiento térmico

Como es de esperar, cada opción tiene sus pros y sus contras, y se adaptará más o menos a cada parte a aislar en el edificio. Una menor conductividad térmica suele conllevar un precio mayor, y generalmente un mayor impacto medioambiental. Sin embargo, es necesario considerar las necesidades particulares del Palacio: para el caso de los muros del edificio antiguo del Palacio, las paredes decorativas interiores limitan en gran medida el grosor del aislamiento aplicable a las mismas, ver Figura 4.1a. Debido a esta limitación, para este caso, se han de excluir las opciones de aislamiento con un grosor de panel superior a 30 mm, es decir, el rollo SUPASOFT de polyester reciclado, y los paneles de micelio. Poniendo atención a la opción de aerogel de sílice, como se ha comentado anteriormente en el Estado del Arte, esta es la opción más eficaz en términos de grosor y conductividad térmica. Sin embargo, estas características competitivas, vienen a su vez con un precio elevado, llevando a considerar esta opción como excesiva para este caso particular.



(a) Pared decorativa interior

(b) Condición fachada exterior

Figura 4.1: Detalles del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Las dos opciones restantes son las dos pinturas térmicas, que, además de ser la opción menos invasiva, con un espesor de en torno a 1 mm por capa y una conductividad térmica competitiva, ofrece la ventaja de ser de aplicación exterior, permitiendo dejar las paredes interiores completamente intactas. Debido a su carácter histórico y patrimonial, la normativa en cuanto a intervenciones exteriores en el edificio es muy estricta. Sin embargo, no se hace mención al hecho de repintar las fachadas del edificio con el objetivo de restaurar la apariencia de este. Esto permite aprovechar la fachada homogénea de color blanco del edificio y repintarla con una pintura térmica blanca, acción que empezaba a ser necesaria debido al deterioro del recubrimiento de mortero de cal y yeso, ver Figura 4.1b. La pintura elegida como solución de aislamiento térmico para el Palacio es la pintura térmica **EGA Fonothermal**, que además de ofrecer una conductividad térmica muy baja a un precio competitivo, proporciona propiedades anticondensación, antimoho, y un buen aislamiento acústico, incrementando el confort en el interior del edificio.

Caso particular	Opción elegida
Muros exteriores Palacio	EGA Fonothermal pintura aislante (3 capas)
Paredes exteriores sótano	Thermafleece SupaSoft rollo polyester reciclado (50 mm)
Techo Gran Sala	Thermafleece SupaSoft rollo polyester reciclado (100 mm)
Entretecho Palacio	Thermafleece SupaSoft rollo polyester reciclado (100 mm)

Cuadro 4.2: Soluciones de aislamiento elegidas por zona del Palacio

Otras partes que interesa aislar, desde un punto de vista de eficiencia térmica, son los muros exteriores del sótano, y los entretechos del Palacio y la Gran Sala, por los que también se pierde una gran cantidad de calor. Para estos dos casos, no hay tanta limitación en términos de grosor, debido a que las paredes del sótano, por un lado, son de obra nueva sin elementos decorativos, por lo que se puede aplicar aislamiento interior, y en el caso del suelo del entretecho, visto que este entretecho no se utiliza, no hay realmente un límite de espesor más que la altura del tejado mismo. Para estos dos casos se ha escogido el rollo aislante de polyester 100 % reciclado **Thermafleece SupaSoft Roll**, que además de promover la economía circular y la sostenibilidad, siendo producto de botellas de polyester recicladas, ofrece un valor de conductividad

térmica competitivo al precio por metro cuadrado más económico de entre todas opciones. Para los muros del sótano se ha escogido un espesor de material de 50 mm para minimizar el espacio ocupado por el mismo, mientras que para los entretechos se ha escogido un grosor de 100 mm para maximizar el efecto aislante. En el Cuadro 4.2 se presentan las opciones de aislamiento elegidas para cada caso particular.

4.2 ACRISTALAMIENTOS

De la misma manera, en el Cuadro 4.3 se han propuesto cuatro soluciones a comparar para la modernización energética de las ventanas y puertas acristaladas del edificio. Como se mencionó en el capítulo del Palacio Condal de Gamazo, los acristalamientos del edificio son de un vidrio emplomado decorativo único de 1,5 mm de espesor, resultando en pérdidas térmicas muy elevadas. Sin embargo, el carácter decorativo patrimonial de las ventanas prohíbe la sustitución completa del acristalamiento, lo que nos permite de partida descartar la opción de acristalamiento Smartwin Historic, que además de requerir dicha sustitución, tiene un espesor total muy grande en proporción al marco de madera existente de 280 mm, medido en la Figura 4.2a.

Opción	Espesor [mm]	Valor U [W/m^2K]	Precio [€/m ²]
Smartwin Historic	214	0,8	~850–1000
ClimaGuard 1.0+ cristal doble	28	1	~150–180
Contraventana interior metacrilato	10	2,8	~60
3M Thinsulate lámina	0,1	4,8	~30–50

Cuadro 4.3: Opciones de mejora térmica para cerramientos acristalados

Habiendo descartado la opción de Smartwin Historic, que pese a proporcionar el valor U más pequeño, no cumple con los requerimientos del edificio, nos quedan las últimas tres opciones. Por un lado, la lámina Thinsulate ClimaControl de 3M es la opción menos invasiva, de fácil aplicación y con un grosor de tan solo 0,1 mm. No obstante, esta lámina adherente está pensada más para mejorar ligeramente las propiedades de reflexión UV de ventanas relativamente modernas que ya cuentan un

valor U suficientemente bajo, por lo que el impacto que tendría en los vidrios del Palacio no serían suficientes para lograr el aislamiento térmico deseado.

Por ello, quedan las dos opciones intermedias, permitiendo ambas su aplicación sobre vidrios existentes y variando en términos de espesor, valor U, y precio. Considerando las condiciones críticas de los cerramientos actuales, lo ideal sería encontrar la opción que, adaptándose a las limitaciones del edificio, maximice el aislamiento (minimice el valor U) de las ventanas. Con esto en mente, destaca el acristalamiento doble de Guardian ClimaGuard, que con casi un 90 % menos de espesor, y un 80 % más barato, se obtiene un valor U de $1 \text{ W/m}^2\text{K}$, muy cercano al valor de $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ de la opción de Smartwin.



(a) Medición marco interior ventana

(b) Diagrama composición Guardian ClimaGuard 1.0+

Figura 4.2: Detalles de Cerramientos (Fuente: Elaboración propia, 2025)

La opción escogida de **Guardian ClimaGuard 1.0+**, representada en el diagrama de la Figura 4.2b, obtiene un valor U tan bajo gracias a su composición, de un espesor total de unos 28 mm: una primera hoja de 4 mm de vidrio base Guardian ExtraClear, seguido de una cámara de 16 mm de 10 % aire y 90 % argón en composición, y cerrado por otras dos hojas de 4 mm cada una de vidrio Guardian ExtraClear, con una lámina intercalaria de 0.38 mm de clear PVB. Además de sus excelentes propiedades térmicas, esta opción ofrece un 76 % de transmisión de luz visible, una absorbancia solar de 18 %, y una transmisión de rayos UV de tan solo 0,3 %. Analizando de nuevo la medición del marco disponible en la Figura 4.2a, se constata que existe un margen de unos 40 mm para instalar el acristalamiento seleccionado sin interferir con los detalles decorativos de madera, por lo que el espesor seleccionado de 28 mm podrá ser instalado de forma

mínimamente invasiva, con tan solo unas ligeras modificaciones en el marco de madera si fuera necesario.

Por último, como se vio en la inspección inicial del edificio, parte de los vidrios originales cuentan con grietas y fracturas, que por mucho que se incluyan mejoras de aislamiento en los cerramientos, la eficiencia térmica nunca será óptima si se permite al aire fluir libremente a través de estas aberturas. De la misma manera, ciertos marcos de madera y algún cerramiento de las puertas acristaladas cuentan con huecos que perjudican seriamente la estanqueidad del aire en el interior del edificio. Estos dos problemas se solucionan de forma rápida con la simple aplicación de una masilla incolora restauradora para vidrios, y unos burletes selladores básicos de goma o silicona, respectivamente. Esto no solo mejorará significativamente la estanqueidad del aire interior, que a su vez reducirá las pérdidas térmicas por ventilación, sino que será importante para reducir las humedades y condensaciones en el interior de las salas del edificio.

4.3 DEMANDA TÉRMICA ACTUALIZADA

Una vez propuestas las soluciones en tema de aislamiento térmico y cerramientos acristalados, es necesario volver a calcular la demanda térmica del edificio, modificando los valores de transmitancia térmica de los muros y ventanas, que resultarán en una disminución de las cargas térmicas de transmisión en el Palacio. En primer lugar, se detalla la conversión de la capa de 1 mm de pintura térmica de 0,040 W/mK de conductividad térmica, a su respectiva resistencia térmica en función del espesor, a añadir al muro original:

La resistencia térmica R de una capa se calcula con la Ecuación 4.1:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [4.1]$$

Donde:

- e : espesor de la capa aislante [m]
- λ : conductividad térmica del material aislante [W/mK]

Para el caso de la pintura térmica exterior utilizada, por ejemplo, con un espesor de $e = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$ y una conductividad térmica de $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$, se obtiene una resistencia térmica:

$$R_{\text{pintura}} = \frac{3 \cdot 0,001}{0,04} = 0,075 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Este mismo procedimiento se aplica a las capas aislantes del sótano y los suelos del entretecho.

Dado un cerramiento con una transmitancia térmica original U_{original} , la incorporación de una nueva capa con resistencia térmica R_{nueva} (la pintura, por ejemplo) modifica el valor de U según:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{original}}} + R_{\text{nueva}}} \quad [4.2]$$

De la misma manera, conociendo el valor U del nuevo acristalamiento a implementar en las ventanas originales U_{nueva} , se calcula el nuevo valor U como:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{original}}} + \frac{1}{U_{\text{nueva}}}} \quad [4.3]$$

Estos ajustes permiten evaluar de forma rápida la mejora del aislamiento térmico de los muros y cerramientos acristalados mediante la aplicación de las medidas pasivas propuestas anteriormente. Tras la modificación de los valores de transmisión térmica en muros, ventanas, y el suelo del entretecho, se obtienen los valores de demanda térmica en kW presentados en los Cuadros 4.4 para verano y 4.5 para invierno. En las tablas se presenta también el valor de demanda térmica original para ambos casos, que se utiliza para compararlo con el nuevo y cuantificar el ahorro energético debido a las medidas.

Nueva demanda térmica total por planta (verano)					
Planta	Q_T^* [kW]	Q_V [kW]	Q_{TOT} [kW]	Q_{TOT} orig. [kW]	Ahorro [%]
Planta Baja	15,12	81,88	96,99	110,39	12,1
Planta 1	7,18	10,27	17,45	19,25	9,4
Planta 2	6,34	5,38	11,72	14,31	18,1
Sótano	22,19	38,32	60,51	66,44	8,9
Total			186,44	210,39	11,4

Cuadro 4.4: Demanda térmica tras medidas pasivas, verano (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Nueva demanda térmica total por planta (invierno)					
Planta	Q_T^* [kW]	Q_V [kW]	Q_{TOT} [kW]	Q_{TOT} orig. [kW]	Ahorro [%]
Planta Baja	39,10	211,81	250,91	285,54	12,1
Planta 1	18,56	26,56	45,12	49,77	9,3
Planta 2	15,57	13,92	29,49	36,72	19,7
Sótano	32,28	84,85	117,13	132,46	11,6
Total			442,65	504,49	12,3

Cuadro 4.5: Demanda térmica tras medidas pasivas, invierno (Fuente: Elaboración propia, 2025)

A partir de los valores representados en estos cuadros, se aprecia una notable disminución de la demanda térmica total tanto en verano (11,4%) como en invierno (12,3%), en el caso en el que se apliquen todas las medidas conjuntamente. Sin embargo, hay medidas pasivas que tendrán un efecto mayor que otras. Esto último se refleja en la gráfica de la Figura 4.3, en la que, de izquierda a derecha se representa el ahorro energético acumulativo al añadir una nueva medida cada vez. Analizando la gráfica se puede apreciar cómo tan solo con aislar el entretecho de los más de 800 m² de Gran Sala se obtiene un ahorro térmico de 30 kW, representando casi un 6% de la demanda original. Conforme se van añadiendo medidas (hacia la derecha de la gráfica), el impacto es cada vez menor, llegando hasta el aislamiento del entretecho del Palacio, que, a diferencia de la misma medida en la Gran Sala, se obtiene un ahorro de tan solo 0,6% respecto a la demanda original sin medidas pasivas.

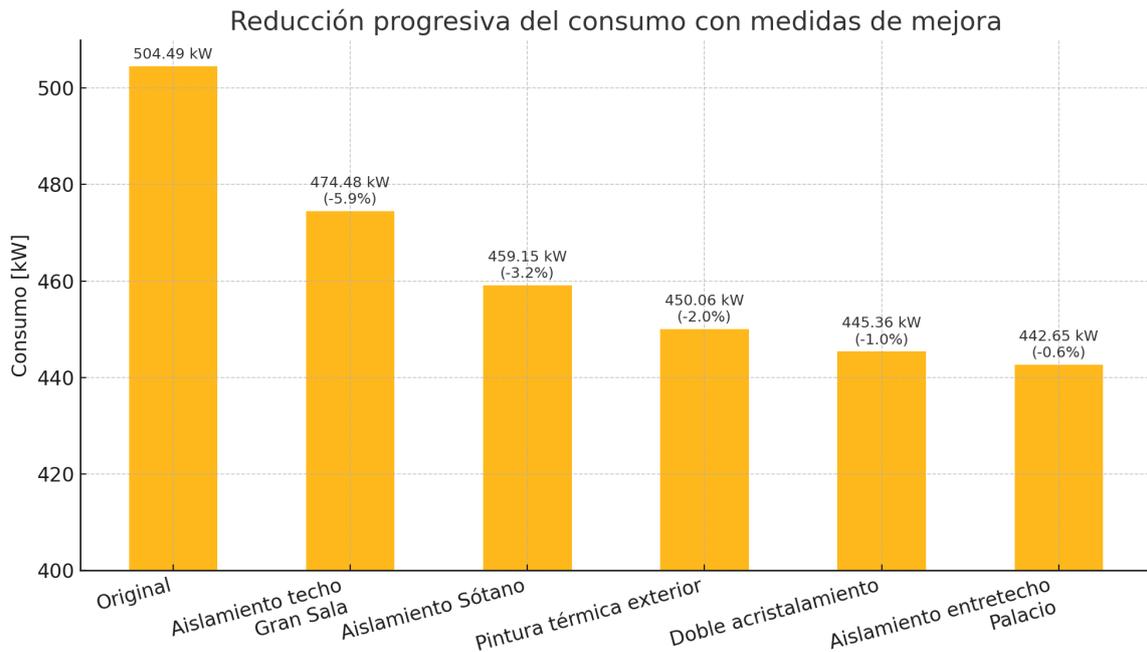


Figura 4.3: Reducción progresiva de demanda térmica en invierno (Fuente: Elaboración propia, 2025)

La demanda térmica máxima con todas las intervenciones de mejora pasiva es de 442,65 kW en invierno. Sin embargo, para dejar algo de margen en la toma de decisiones de qué medidas aplicar finalmente, a la hora de analizar el coste de cada intervención, se redondeará la demanda térmica necesaria a 450 kW para futuros cálculos y el dimensionamiento de la caldera. Esta decisión, además, ayuda a albergar posibles errores de cálculo o pérdidas en los sistemas de climatización.

4.4 SOLUCIÓN PARA CLIMATIZACIÓN Y ACS

A la hora de seleccionar el sistema HVAC necesario para suplir la demanda de calefacción, refrigeración y producción de ACS del Palacio es necesario analizar el sistema HVAC existente en el edificio y reflexionar en como puede ser adaptado y aprovechado para presentar una solución definitiva, eficiente, y amoldada a las restricciones y normativas vigentes.

Desde el marco europeo, la última Directiva de Eficiencia Energética del Parlamento Europeo¹ ruega a los estados miembros de la Unión Europea a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero ligadas a la utilización de combustibles fósiles para

¹Parlamento Europeo y Consejo, Directiva (UE) 2023/1791 de 13 de septiembre de 2023.

la generación de calor. Más concretamente, buscan la eliminación de las calderas de gas natural para 2028. Siguiendo esta normativa, será eliminada de entre las opciones toda caldera que utilice combustibles fósiles para la generación de energía térmica. Por lo tanto, toda caldera de gas natural, gasoil, o propano será excluida de entre las opciones a considerar.

Por otro lado, en cuanto a normativa nacional, el Código Técnico de la Edificación² establece en el documento de ahorro de energía HE4, para la generación de ACS, una contribución mínima del 70 % proveniente de fuentes de energía renovables. Sin embargo, esta misma normativa precisa que dicha contribución se podrá reducir hasta un 60 % en el caso de que el ACS producida no sobrepase los 5000 l/día. En este caso concreto, se calculó la demanda diaria pico de ACS en unos 4008 l/día, por lo que a priori un 60 % sería suficiente. No obstante, para asegurar el Palacio frente a posibles futuras normativas más restrictivas, se buscará maximizar la generación renovable por encima de esa franja.

4.4.1. Climatización de calor y frío

En el Cuadro 4.6 se representa una comparativa de cuatro tipos diferentes de calderas según fuente de energía para hogares promedio en España, que aunque no sean de utilidad en cuando a las dimensiones del Palacio, sí que aporta una idea de como se comparan relativamente las diferentes opciones. Esta tabla excluye las opciones basadas en combustibles fósiles (gas natural, gasoil y propano) debido a la directiva europea mencionada anteriormente en el análisis de normativas y regulaciones.

²Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HE) Ahorro de Energía 2025.

Criterio	Biomasa	Aeroterminia	Geoterminia	Eléctrica
Coste de inversión [€]	3.800	6.200	16.000	1.700
Precio combustible [€/kWh]	0,05	0,09	0,09	0,09
Eficiencia de combustión [%]	75	400	600	100
Gasto anual energía [€/año]	1.879	634	423	2.537
Mantenimiento [€/año]	120	160	200	40
Impacto ambiental	Emite CO ₂	Excelente	Excelente	Muy malo
Integración solar	Solo solar térmica	Térmica y FV	Térmica y FV	Térmica y FV
Emisión CO ₂ [kgCO ₂ /kWh]	0,018	0,075	0,050	0,299

Cuadro 4.6: Comparativa calderas sostenibles (Fuente: *EnerPop Energías Renovables 2025*)

En cuanto a la caldera eléctrica y la de biomasa, pese a ser las opciones más económicas en términos de inversión inicial, quedan inmediatamente descartadas debido a su impacto ambiental negativo; la caldera eléctrica, pese a no ser basada directamente en combustibles fósiles, no es reconocida como renovable por el CTE, mientras que la biomasa, pese a ser reconocida como renovable, resulta en unas emisiones de CO₂ elevadas e inaceptables para los criterios del proyecto.

Comparando la aeroterminia con la geoterminia, se constata directamente que esta última tiene una mayor eficiencia y un menor gasto de energía y emisión de gases de efecto invernadero. No obstante, estas ventajas vienen ligadas a una inversión inicial de casi el triple del coste de instalación de la aeroterminia. Además, la instalación de la geoterminia implica perforaciones verticales o captadores horizontales que arriesgan la integridad arquitectónica y patrimonial del Palacio. Finalmente, la opción que más se adapta a las necesidades del edificio es la aeroterminia multiservicio, que combina:

- Eficiencia notable (COP de hasta 400 %).
- Coste de inversión intermedio.
- Mantenimiento razonable y mínimo impacto visual.
- Integración renovable que permite cumplir con el CTE HE4.
- Compatibilidad con el sistema de distribución existente por conductos.

En el capítulo de Evaluación de Necesidades Energéticas se calculó una demanda de ACS máxima de 11,53 kW para el mes de enero, que es la que se debe utilizar para dimensionar correctamente el sistema a utilizar. Esta última, se suma a la demanda térmica de 450 kW calculada y redondeada a la alza tras las intervenciones de ahorro pasivo, obteniendo una demanda de potencia pico de unos 460 kW, Ecuación 4.4. 460 kW está muy por encima de la gran mayoría de sistemas de aerotermia disponibles en el mercado actual, que suelen rondar los 6-20 kW, alcanzando los 60, 70, 80 kW para las necesidades industriales más altas. Debido a esta limitación, para alcanzar los 460 kW solicitados por el Palacio en una situación límite, es necesario utilizar un sistema de aerotermia en cascada.

$$\text{Demanda total de potencia} = \underbrace{450 \text{ kW}}_{\text{Climatización}} + \underbrace{11,53 \text{ kW}}_{\text{ACS}} \approx \boxed{460 \text{ kW}} \quad [4.4]$$

Este tipo de sistema consiste en la instalación de múltiples bombas de calor aire-agua conectadas entre sí, generalmente en una configuración maestro-esclavo, para sumar su capacidad térmica y adaptarse dinámicamente a la demanda del edificio. Esta solución permite superar la limitada potencia de las bombas individuales combi-nándolas en paralelo mediante un cuadro de control centralizado. Según las necesida-des de calefacción, refrigeración o ACS, las unidades pueden activarse o desactivarse de forma progresiva, optimizando así el rendimiento global. Esta configuración ofrece múltiples ventajas:

- **Escalabilidad:** permite alcanzar potencias elevadas como los 460 kW requeri-dos por el Palacio combinando unidades estándar y de fácil accesibilidad en el mercado, sin tener que recurrir a opciones industriales específicas.
- **Redundancia y fiabilidad:** si una unidad falla, las demás continúan operati-vas, garantizando el servicio.
- **Modularidad:** el sistema activa o desactiva las bombas en función de la carga térmica demandada en tiempo real, reduciendo consumos innecesarios.

La solución finalmente seleccionada para cubrir la demanda térmica del edificio es la bomba de calor aire-agua **Panasonic ECOi-W AQUA-G BLUE R290 de 80 kW**, representada en la Figura 4.4. Esta línea de bombas de Panasonic ha sido diseñada específicamente para usos industriales de demandas elevadas y combinan un diseño compacto, eficiente y respetuoso con el medioambiente. Utiliza el refrigerante natural R290 (propano), con un potencial de calentamiento global (PCA) de 3, muy por debajo de otros refrigerantes fluorados tradicionales del mercado, lo que le otorga un clasificación de A++ según la normativa europea.



Figura 4.4: Panasonic ECOi-W AQUA-G BLUE R290 (Fuente: Panasonic, 2025)

Considerando la demanda térmica de 460 kW del edificio, será necesario conectar seis de estas bombas en cascada creando un sistema que alcanzaría unos 480 kW, cubriendo con margen de seguridad la potencia requerida. Esta modularización es posible gracias a que la gama ECOi-W AQUA-G BLUE es totalmente compatible con el **Control en Cascada Plug & Play** de Panasonic, Figura 4.5, y con la plataforma en la nube ECOi-W Cloud, que ofrece el monitorizado remoto del sistema permitiendo la reducción de consumos innecesarios en situaciones de baja demanda.



Figura 4.5: Controlador de cascada Plug & Play (Fuente: Panasonic, 2025)

Una vez diseñado el sistema externo de bombas de aerotermia en cascada es necesario conectarlo a un depósito de inercia en el interior del edificio, para la rama de climatización. El depósito de inercia actúa como un elemento estabilizador del sistema, permitiendo desacoplar hidráulicamente el circuito de generación del circuito de distribución. Esto evita ciclos cortos de encendido y apagado de las bombas de calor, mejora la eficiencia global del sistema y asegura un suministro térmico más constante.

Para dimensionar el volumen del depósito requerido por el sistema se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{\text{inercia}} = \frac{P \cdot \Delta t}{c_p \cdot \Delta T} \quad [4.5]$$

Donde:

- V_{inercia} : volumen necesario del depósito de inercia [litros]
- P : potencia térmica total del sistema [kW]
- Δt : tiempo mínimo de funcionamiento continuo deseado [h]
- c_p : calor específico del agua = 1.163 [kWh/m³·°C]
- ΔT : salto térmico estimado entre impulsión y retorno [°C]

Partiendo de la potencia térmica de 480 kW, se asume un tiempo mínimo de funcionamiento continuo habitual de 5 minutos (0,083 h), y un salto térmico de 10°C, se obtiene un volumen:

$$V_{\text{inercia}} = \frac{480 \cdot 0,083}{1,163 \cdot 10} = 3,426 \text{ m}^3 = 3426 \text{ litros} \quad [4.6]$$

Redondeando el volúmen requerido a 3500 l, se propone como solución el depósito de inercia **LAPESA Máster Inercia MV 3500L**, Figura 4.6.



Figura 4.6: Depósito Inercia LAPESA MASTER 3500L (Fuente: Lapesa, 2025)

Finalmente, el sistema de aerotermia diseñado mediante la conexión en cascada de seis bombas de calor, será conectado al depósito de inercia que a su vez alimentará el fancoil central existente. Este fancoil se encargará de impulsar el aire a través de los conductos existentes en el falso techo y distribuirlo a las diferentes zonas térmicas mediante las rejillas de impulsión y retorno existentes en el techo. Aprovechar el

fancoil y el sistemas de conductos del falso techo permite reducir significativamente el impacto económico y estructural de la reforma.

4.4.2. Producción de ACS

En cuanto a la producción y distribución de ACS, en el dimensionamiento del sistema de aerotermia ya se han tenido en cuenta los 11,53 kW de potencia máximos necesarios para calentar el agua en el mes de enero. Dicho esto, solo queda dimensionar el depósito acumulador de ACS en base a los cálculos de demanda de caudal obtenidos en el capítulo anterior. Considerando un escenario de ocupación máxima en el edificio, se obtuvo una demanda de 4008 l/día.

Para estimar el volumen requerido del acumulador se debe tener en cuenta el valor punta de consumo de ACS simultáneo. Para ello se hará uso de la estimación empírica descrita en el apartado 6.4 de la Guía Técnica del IDAE “Agua caliente sanitaria central”³. En este documento se sugiere tomar como consumo en la hora punta el 50 % del consumo medio diario en edificios como viviendas y hoteles. Esta aproximación conservadora resulta en un volumen de en torno a 2000 l.

$$\text{Volumen necesario} = 4008 \cdot 0,50 \approx \boxed{2000 \text{ litros}} \quad [4.7]$$

Para estos 2000 litros requeridos se ha encontrado el **Acumulador ACS CORDI-VARI DAB 2050L**, Figura 4.7, que representa una solución ideal para las necesidades de ACS del Palacio. Con una temperatura de trabajo de 90° C, el acumulador está fabricado en acero al carbono ST 37.2 y revestido interiormente por la resina epoxi Polywarm, adecuada para el almacenamiento de agua potable según el Reglamento 1935/2004⁴, que regula los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.

³Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Guía Técnica de ACS 2010.

⁴Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 1935/2004 de 27 de octubre de 2004.



Figura 4.7: Acumulador ACS CORDIVARI DAB 2050L (Fuente: Cordivari, 2025)

Combinando todas las propuestas anteriores se ha representado el funcionamiento del sistema completo de aerotermia para climatización y ACS en el esquema de la Figura 4.8. A la izquierda del esquema, representando el exterior del edificio se plantea el grupo de seis bombas de calor en cascada, monitorizadas por el controlador en cascada con la tecnología Plug & Play de Panasonic. Este sistema en cascada alimenta, por un lado, el acumulador de ACS de 2000 L, en la esquina inferior del interior del edificio, que a su vez alimenta la demanda de ACS del edificio, representada por un esquema de un lavavajillas, y por otro lado se alimenta el depósito de inercia. Este último se encarga del correcto funcionamiento del sistema y es el encargado de alimentar el fancoil, que a su vez abastece la demanda de aire caliente o frío, distribuida finalmente por los conductos.

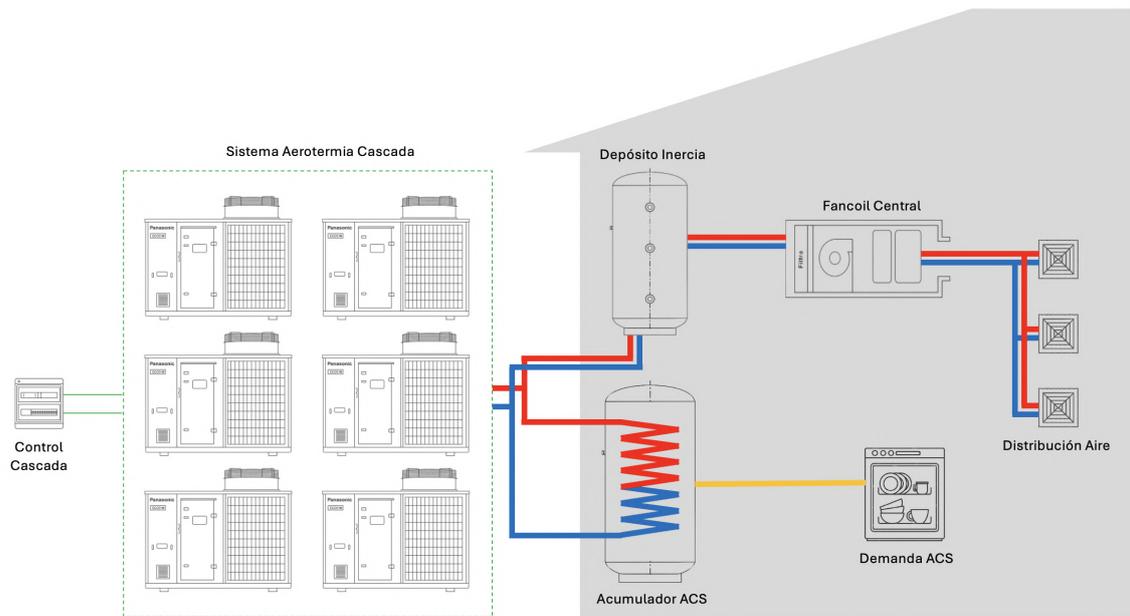


Figura 4.8: Esquema del sistema de climatización y ACS (Fuente: Elaboración propia, 2025)

4.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

A lo largo de este capítulo se han seleccionado las tecnologías más adecuadas para mejorar la eficiencia energética del Palacio, teniendo en cuenta tanto las limitaciones patrimoniales como las exigencias normativas actuales. Se ha optado por soluciones pasivas mínimamente invasivas como pinturas térmicas y cerramientos acristalados compatibles que permiten una reducción significativa de la demanda térmica. A partir de esta nueva demanda recalculada, se ha dimensionado un sistema completo de climatización y ACS mediante bombas de calor aerotérmicas en cascada, conectadas a un depósito de inercia y un acumulador de ACS, combinando eficiencia, modularidad y cumplimiento normativo. En el siguiente capítulo se diseñará una solución basada en paneles solares fotovoltaicos para abastecer en parte la demanda energética requerida tanto por este sistema de aerotermia, como por la iluminación y aparatos eléctricos del Palacio.

5 SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA

Como se mencionó en el último capítulo, para este proyecto se plantea la incorporación de una instalación solar fotovoltaica como fuente de energía renovable con el objetivo de hacer frente a la demanda energética del Palacio y lograr un autoconsumo eléctrico. Desde un punto de vista de eficiencia energética esto permite reducir significativamente la dependencia del edificio en el suministro eléctrico convencional, así como su impacto medioambiental. Además, el Palacio, por su ubicación, cuenta con unas características solares que hacen de la energía solar fotovoltaica una solución ideal. En el apartado 1.3 del capítulo del Palacio Condal de Gamazo, que detalla las condiciones climáticas del entorno, se plantearon un promedio anual de 2639 horas de sol, y una radiación solar favorable de 1693 kWh/m²/año, que equivale a unos 4,6 kWh/m²/día.

5.1 MARCO NORMATIVO

Entrando en normativas de instalaciones fotovoltaicas, existen dos modalidades de generación solar en función del tipo de autoconsumo, según el Real Decreto¹ 244/2019 y la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico², que se deben considerar para escoger la solución más adecuada para el Palacio:

- **Autoconsumo sin excedentes:** este tipo de instalaciones, no pueden inyectar energía sobrante a la red, y de estar conectadas a la misma, deberán incluir un sistema de antivertido para evitar el paso de energía generada hacia el exterior.

¹Ministerio para la Transición Ecológica, Real Decreto 244 de 5 de abril de 2019.

²Jefatura del Estado, Ley 24 de 26 de diciembre de 2013.

- **Autoconsumo con excedentes:** este otro modo, en cambio, sí que permite verter a la red la energía no consumida en el momento de su generación, y se subdivide en dos tipos según la compensación:
 - **Acogido a compensación (<100 kWp):** aquí, la energía excedente se vierte a la red y la comercializadora aplica una compensación económica en la factura eléctrica, basada en un precio prefijado distinto al del mercado diario.
 - **No acogido a compensación (>100 kWp):** en este otro caso, los excedentes se venden directamente en el mercado eléctrico, a través del Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE), al precio de mercado correspondiente.

Para la situación concreta del Palacio, con un patrón de consumo irregular y muy dependiente del calendario (mayor consumo en festivos y fines de semana), se ha elegido instalar un sistema de autoconsumo con excedentes, que permite aprovechar los momentos de baja demanda y alta generación para reflejar una compensación económica en la factura eléctrica de cada mes. Por las dimensiones y superficies explotables del Palacio se podrían superar fácilmente los 100 kWp, entrando en la modalidad no acogida a compensación. No obstante, dadas las complicaciones técnicas y legales ligadas a esta modalidad, se intentará limitar la instalación solar para que quede por debajo de los 100 kWp.

5.2 ESTIMACIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA

Para el correcto dimensionamiento de la demanda eléctrica del Palacio, se ha realizado una estimación del consumo eléctrico total en un escenario de funcionamiento habitual con ocupación plena incluyendo los tres bloques principales de consumo eléctrico del edificio: iluminación, aparatos y electrodomésticos, y el sistema de aerotermia para climatización y producción de ACS.

En primer lugar, la demanda eléctrica de iluminación ha sido estimada teniendo en cuenta el tipo, número, y eficiencia de las luminarias instaladas, sustituyendo las lámparas menos eficientes por tecnologías LED de clase energética A con lo que se ha

obtenido una reducción del 22 % respecto a la instalación original. Por otro lado, la demanda de los electrodomésticos de cocina y de los aparatos de oficina y sonido, ha sido calculada considerando tanto su potencia nominal como su uso horario estimado y un factor de simultaneidad adecuado. La demanda eléctrica combinada de electrodomésticos y aparatos resulta en un total de 454,16 kWh de consumo diario, donde un 70 % de dicho consumo proviene de los aparatos de cocina.

Finalmente, para estimar el consumo eléctrico del sistema de aerotermia, se debe tener en cuenta tanto la demanda térmica de 460 kW, las horas de uso y la eficiencia del mismo. Para esta última, la bomba seleccionada ofrece una clasificación de A++; más concretamente un *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (SEER) de 4,4 para refrigeración, y un *Seasonal Coefficient of Performance* (SCOP) de 3,9 para calefacción, por lo que usaremos un COP de 4. Para las horas de uso, en cambio, se ha seleccionado una franja promedio de 9 h, como se hizo para el cálculo de consumo en la zona de oficinas. El cálculo se refleja en la siguiente expresión.

$$\text{Demanda eléctrica} = \frac{\text{Demanda térmica} \cdot \text{Horas}}{\text{COP}} = \frac{460 \cdot 9}{4} = \boxed{1035 \text{ kWh/día}} \quad [5.1]$$

Esta demanda eléctrica de 1035 kWh/día calculada para el consumo derivado del sistema de climatización representa un cálculo conservador para cubrir la demanda en días de uso intensivo del sistema como puede ser días de temperatura extrema en invierno o verano con máxima ocupación del edificio. A esta demanda se le suman el resto de demandas eléctricas del edificio de los otros bloques de consumo, reflejándose el total de 1604,36 kWh/día en el Cuadro 5.1.

Bloque de consumo eléctrico	Consumo diario [kWh]
Electrodomésticos de cocina	318,08
Equipos auxiliares y oficina	136,08
Iluminación	115,20
Aerotermia (climatización y ACS)	1035,00
Consumo Total	1604,36

Cuadro 5.1: Consumo eléctrico diario por grupo de demanda. Fuente: Elaboración propia (2025).

Este último cálculo es de interés para estimar el consumo diario máximo de electricidad en una situación extrema de máxima ocupación. No obstante, a la hora de dimensionar el sistema de generación fotovoltaica es necesario averiguar el consumo eléctrico anual promedio para situaciones más realistas, evitando así un sobredimensionamiento innecesario del sistema. Este consumo medio se ha calculado haciendo uso de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) relativos al porcentaje de ocupación hotelera en la provincia de Valladolid en el año 2024. Estos datos se han representado en el gráfico de la Figura 5.1, reflejando como la ocupación hotelera varía mucho entre los meses más calurosos y los más fríos del año.

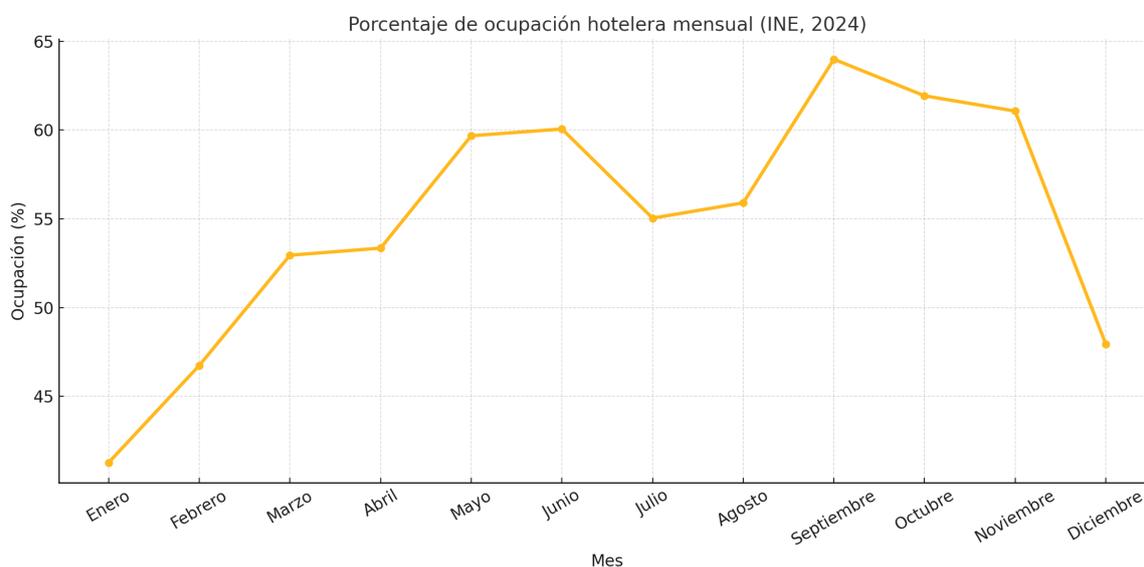


Figura 5.1: Gráfico de ocupación mensual hotelera en Valladolid (Fuente: INE, 2024)

A partir de estos datos, se ha logrado estimar la demanda eléctrica mensual multiplicando la demanda punta de 1604,4 kWh, considerada como 100 %, por el porcentaje de ocupación mensual y el número de días del mes, Cuadro 5.2. El sumatorio de consumo eléctrico de cada mes resultaría en una demanda de electricidad anual de unos 322.000 kWh, un valor elevado pero razonable para un edificio histórico de estas características.

Mes	% Ocupación	Días del mes	Demanda mensual (kWh)
Enero	41,27	31	20525,70
Febrero	46,74	28	20996,58
Marzo	52,95	31	26334,77
Abril	53,35	30	25677,78
Mayo	59,68	31	29681,94
Junio	60,06	30	28907,36
Julio	55,04	31	27374,23
Agosto	55,90	31	27801,95
Septiembre	63,99	30	30798,90
Octubre	61,93	31	30800,98
Noviembre	61,07	30	29393,48
Diciembre	47,94	31	23843,04
Total demanda anual (kWh)			322.136,72

Cuadro 5.2: Demanda eléctrica mensual según ocupación hotelera en Valladolid (Fuente: INE, 2024)

5.3 DISEÑO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

5.3.1. Análisis del recurso solar

Para comenzar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a implementar, es necesario conocer los datos climáticos y solares del entorno. Este análisis ya se realizó en el apartado 1.3 del capítulo del Palacio Condal de Gamazo, utilizando datos tanto de bases de datos meteorológicas, como de simulaciones solares utilizando la herramienta *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) de la Comisión Europea. Los datos solares necesarios para este dimensionamiento se representan en el Cuadro 5.3

Parámetro	Valor
Coordenadas del emplazamiento	41,54°N, 4,70°O
Horas de sol anuales	2639 h/año (media de 7,2 h/día)
Radiación solar media anual	1693 kWh/m ² /año
Inclinación óptima del plano	35°
Orientación de paneles recomendada	Hacia el sur geográfico (180°)

Cuadro 5.3: Parámetros solares del emplazamiento (Fuente: PVGIS, 2025)

Introduciendo las coordenadas del Palacio y la inclinación de 35° en la herramienta de PVGIS utilizando la base de datos SARA3 correspondiente al año 2023 se obtiene el gráfico de irradiación solar representado en la Figura 5.2. Analizando la gráfica, se puede concluir que tiene una curva muy parecida a la gráfica de ocupación hotelera de Valladolid, Figura 5.1, ligada directamente a la demanda mensual de electricidad. A partir de esto, se puede deducir que la demanda mensual estará razonable balanceada con la generación solar de ese mismo mes, llevando a una relación generación-demanda más estable, que limitará la necesidad de recurrir a la red eléctrica, ya sea para extraer o inyectar electricidad de la misma.

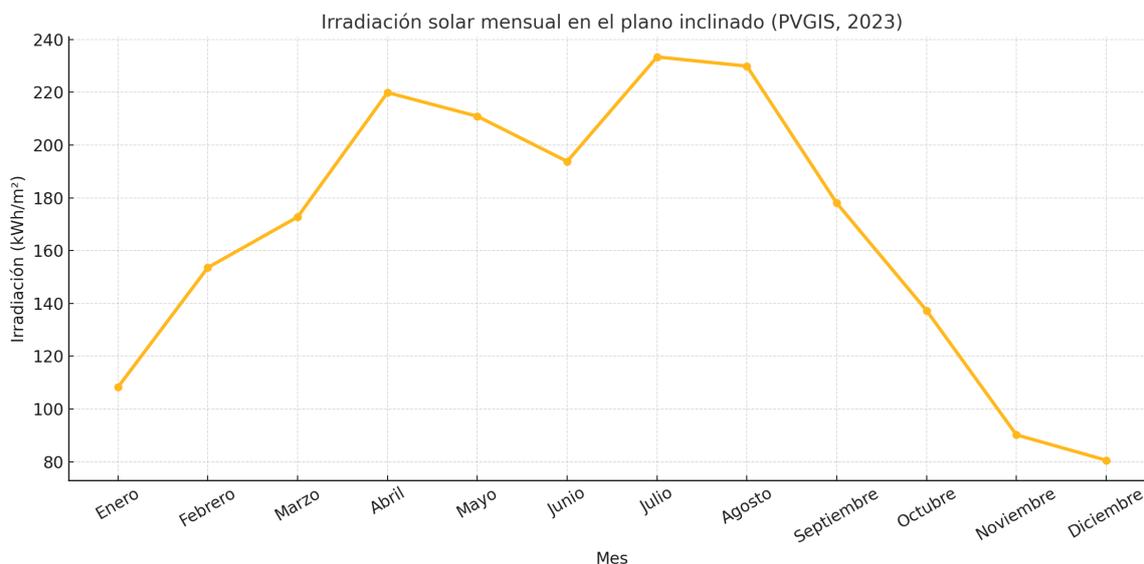


Figura 5.2: Gráfico de Irradiación solar mensual en Boecillo (Fuente: PVGIS, 2023)

5.3.2. Selección de tecnología fotovoltaica

Para continuar con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a instalar, es necesario seleccionar el modelo de panel idóneo para las necesidades específicas de este proyecto. En el Cuadro 5.4 se comparan 4 modelos diferentes de paneles solares. Se han escogido los cuatro con tecnología N-Type, que pese al precio ligeramente más elevado, supera con creces en rendimiento a la tecnología P-Type, anterior a esta. La diferencia principal es el material usado para dopar los semiconductores: en P-Type se utiliza el boro, mientras que en las placas N-Type se utiliza el fósforo, ofreciendo una mayor eficiencia, menor degradación y un mejor coeficiente térmico.

Modelo	Potencia [W]	Efic. [%]	Coef. T [%/°C]	Precio [€/Wp]
JA Solar	400–750	~22,0	-0,30	~0,20
Meyer B.	370–400	~21,8	-0,26	~0,45
Canadian	450–750	~22,8	-0,30	~0,35
REC Pure-R	400–470	~22,0	-0,24	~0,50

Cuadro 5.4: Comparativa técnica modelos de paneles solares (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Analizando la tabla, no se aprecian diferencias muy significativas. Por un lado están las placas de Meyer Burger y las de REC, que serían las opciones más premium de la tabla. Su elevado precio se justifica por la utilización de la tecnología N-Type HJT, que es algo más competente que la TOPCon de los otros competidores. Además, estas dos opciones suelen ofrecer periodos de garantía más extensos y cierta personalización estética, interesante para aplicaciones en las que no importe pagar un poco más a cambio del mejor producto. Sin embargo, dadas las grandes dimensiones del Palacio, la pequeña ganancia en eficiencia de las opciones premium no justificaría la enorme diferencia en inversión inicial. Por ello, para este proyecto se escogerá la tecnología de **JA Solar Deep Blue 4.0**, Figura 5.3; una opción excelente calidad-precio de un fabricante grande y fiable, con seguramente el retorno de la inversión más breve de entre todas las opciones. Las especificaciones generales del panel solar escogido como solución de generación fotovoltaica se detallan en el Cuadro 5.5, mientras que las características eléctricas más técnicas se reflejan en el Cuadro 5.6.

DeepBlue 4.0 X

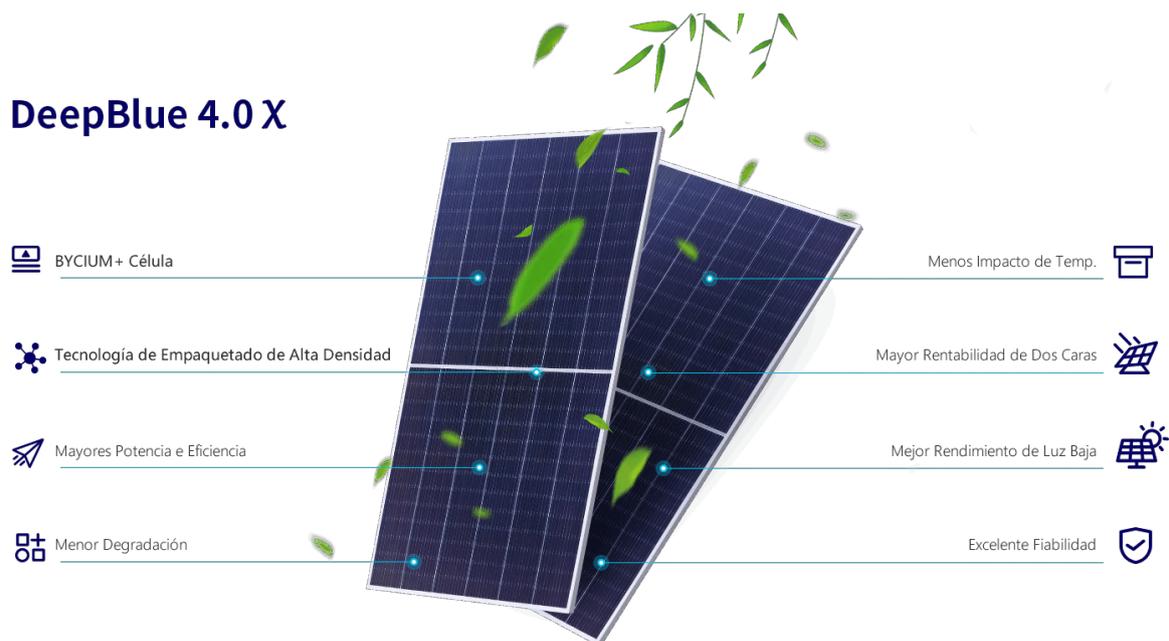


Figura 5.3: Panel Solar JA Solar Deep Blue 4.0 (Fuente: JA Solar, 2025)

Modelo	JA Solar Deep Blue 4.0 TOPCon N-Type
Dimensiones	2278 x 1134 x 30 mm
Número de células	132 (bifaciales)
Potencia	590 Wp
Eficiencia	22 %
Peso	31,8 kg
Garantía	30 años

Cuadro 5.5: Especificaciones generales panel solar escogido (Fuente: JA Solar, 2025)

Modelo	JA Solar Deep Blue 4.0 TOPCon N-Type
Tensión circuito abierto (Voc)	52,58 V
Tensión máxima potencia (Vmp)	44,64 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	13,99 A
Corriente máxima potencia (Imp)	13,33 A
Tensión máxima del sistema (DC)	1500 V

Cuadro 5.6: Especificaciones eléctricas del panel solar escogido (Fuente: JA Solar, 2025)

5.3.3. Distribución física y disposición

Se ha decidido instalar los paneles fotovoltaicos en el tejado correspondiente a la construcción de la Gran Sala, data de 1985. Esta decisión no solo evita las complicaciones legales ligadas a la protección patrimonial del Palacio original de 1928, sino que permite alcanzar una generación elevada gracias a la amplia superficie solar del tejado escogido. La superficie de dicho plano es de unos 890 m², Figura 5.4, que corregido para la inclinación del tejado, asumiendo un ángulo de unos 30°, resultaría en unos 1030 m² potencialmente explotables.



Figura 5.4: Medición superficie tejado Gran Sala (Fuente: Google Maps, 2025)

Sabiendo esto, interesa averiguar cuanta superficie haría falta para llegar a generar la energía eléctrica total demandada anualmente por el edificio, Cuadro 5.2. La energía generada por la instalación fotovoltaica se calcula con la Ecuación 5.2.

$$E_{\text{gen}} = \text{Irrad} \cdot S_{\text{panel}} \cdot N_{\text{paneles}} \cdot \eta \cdot (1 - \text{pérdidas}) \quad [5.2]$$

Donde:

- E_{gen} : Energía generada anualmente por la instalación fotovoltaica [kWh].
- Irrad: Irradiación solar media anual sobre el plano [kWh/m²/año].

- S_{panel} : Superficie de cada panel fotovoltaico [m^2].
- N_{paneles} : Número total de paneles instalados.
- η : Eficiencia del panel.
- pérdidas: temperatura, inversores, suciedad, etc. – alrededor del 10 %.

Utilizando esta ecuación de forma inversa, utilizando las especificaciones del panel escogido, la irradiación solar de $1693 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$, y una demanda energética aproximada de 322.000 kWh/año , se despeja una superficie necesaria de unos 960 m^2 de instalación fotovoltaica. Pese a ser algo menor que la superficie potencial disponible del tejado, es necesario matizar que generalmente nunca se utiliza el 100 % de la superficie del tejado, es más, la superficie útil empleada para la instalación solar suele ser de entre 50-80 % del tejado total, debido a obstáculos, zonas de sombra, y márgenes de mantenimiento.

Dada la homogeneidad aparente del tejado escogido, libre de obstáculos y chimeneas, teóricamente, dejando una banda de 2 m a modo de margen a cada lado para facilitar la instalación y el mantenimiento, quedaría una superficie explotable total de unos 670 m^2 . Dadas las dimensiones del panel solar escogido ($2,278 \times 1,134 \text{ m}$), harían falta un total de 260 paneles solares para cubrir una superficie de 670 m^2 . Multiplicando la potencia pico de cada panel individual (590 Wp) por 260, se obtiene una potencia pico instalada total de unos $153,4 \text{ kWp}$. Esta potencia instalada queda más de un 50 % por encima del límite de instalación de 100 kWp con el que se optaría al autoconsumo con excedentes acogido a compensación, por lo que la potencia pico instalada de 100 kWp será el factor limitante en el dimensionamiento de la instalación.

$$\text{Paneles a instalar} = \frac{100 \text{ kWp}}{590 \text{ Wp}} \approx \boxed{168} \quad [5.3]$$

Una instalación de 100 kWp , con los paneles de 590 Wp , correspondería a una instalación de unos 169 paneles. No obstante, debido a la simetría a dos aguas del tejado y a limitaciones de tensión del inversor a utilizar, se redondea el número de paneles a 160, equivalente a 80 por cada lado del tejado. Una instalación de 160 paneles

llevaría a una potencia pico de 94,4 kWp (<100 kWp), y equivaldría a unos 413 m², 40 % de la superficie total calculada del tejado. Pese al aparente desaprovechamiento de la superficie potencial del tejado, la limitación de potencia pico instalada de 100 kWp, no solo permite acceder a la compensación ligada a este rango de generación solar, si no que reduce la sobrecarga de peso sobre el tejado antiguo, derivado de los 31,8 kg de cada panel, asegurando la integridad estructural del mismo.

Ahora que se sabe el número de placas a instalar se puede proceder al diseño y distribución de estas en el tejado, con el objetivo de aprovechar la exposición solar máxima posible y evitar las sombras propias o externas sobre los paneles. En primer lugar es importante decidir si colocar las placas solares con orientación sur (180°) y 35° de inclinación, lo que conllevaría la necesidad de incluir soportes y resultaría en una apariencia más invasiva estéticamente, o si colocarlas de forma coplanaria (pegados al techo), paralelas al tejado, con una tanta orientada al este y otra al oeste, y forzando la inclinación original del tejado (~30°). Esta diferencia de disposición se refleja de forma visual en la Figura 5.5.

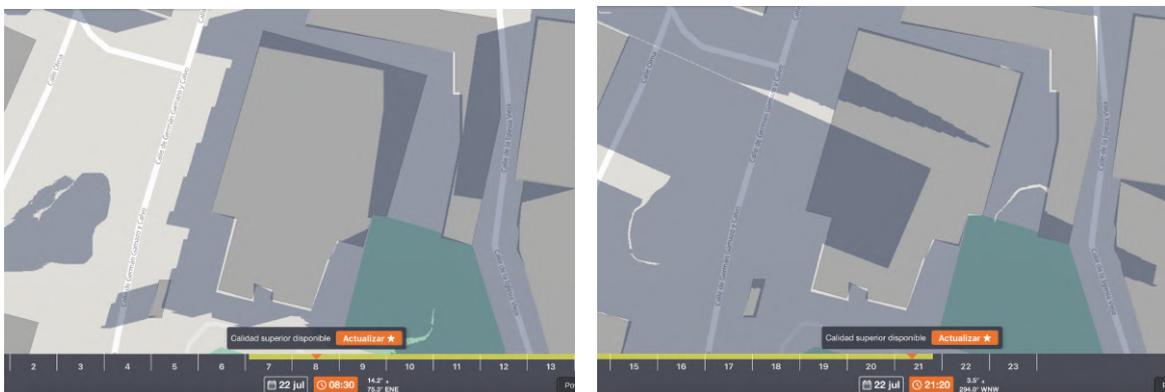


Figura 5.5: Disposiciones posibles de instalación de placas (Fuente: Autosolar, 2025)

La decisión más rápida y aparentemente lógica sería colocarlas con orientación sur con soportes adicionales para obtener la máxima eficiencia energética. No obstante, pese a la generación fotovoltaica ligeramente subóptima, existen numerosos argumentos menos directos que convierten a la solución coplanar este-oeste en la opción más favorable para las necesidades del Palacio. Estas son:

- La disposición coplanar este-oeste permite una generación más constante y amplia a lo largo del día, estabilizando el autoconsumo, frente a la orientación sur inclinada que concentra la generación en torno al mediodía; con esta opción la cara este comenzaría a generar por la mañana, luego llegaría el mediodía donde ambas caras presentan máxima generación, y finalmente atardecería con únicamente la cara oeste generando por el otro lado.
- Desde el punto de vista estético y patrimonial, la solución coplanar se integra mejor en el tejado existente, sin estructuras visibles y un impacto visual mínimo.
- En términos de aprovechamiento de superficie, la opción orientada limita el número de placas a instalar debido al espacio que se debe dejar entre cada una por la sombra que proyectan.
- A nivel estructural, la opción coplanar implica menos peso concentrado y evita el efecto vela, peligroso para tejados históricos en días de mucho viento.

Habiendo elegido la disposición coplanar con orientación este-oeste, es necesario analizar la proyección de sombras tanto de los edificios y árboles cercanos, como de las propias plantas superiores del Palacio sobre el tejado de la Gran Sala. Para ello se ha echo uso de la herramienta ShadeMap que permite simular las proyecciones de las sombras más importantes cuando el sol está bajo (horas cercanas al amanecer y atardecer). Las capturas relevantes se muestran en la Figura 5.6a para las 8:30 h y en la Figura 5.6b para las 21:20 h de la tarde.



(a) Proyección sombra (8:30 h)

(b) Proyección sombra (21:20 h)

Figura 5.6: Proyección de sombra sobre el Palacio el 22 de julio (Fuente: ShadeMap, 2025)

Analizando las capturas anteriores, se concluye que la proyección de sombra tanto de mañana como de tarde afecta en mayor medida a las faldas exteriores del tejado, por lo que la ubicación ideal de los paneles solares sería lo más hacia el interior (arriba) posible. Esto llevaría a una exposición solar algo más prolongada, maximizando así la generación. En cuanto al otro eje geométrico, aunque no se representa en las capturas de ShadeMap, la torre del Palacio proyecta cierta sombra sobre el tejado de la Gran Sala, debida a la inclinación sur del sol en los meses de verano. Sabiendo esto, el máximo aprovechamiento solar se obtendría con la instalación fotovoltaica lo más alejada posible de la torre del Palacio, es decir, desplazadas en dirección norte positiva.

Con estas consideraciones, se propone una distribución óptima de los 160 paneles solares en un total de 8 *strings* (filas), con 20 paneles por *string*. Estos 8 *strings* se dividen en dos grupos; 4 en la cara este y otros 4 en la cara oeste. En la Figura 5.7 se representa una aproximación visual de la distribución de paneles solares sobre el tejado de la Gran Sala. Ambos grupos de *strings* se han colocado alejados de la torre y hacia el interior del tejado, con el objetivo de maximizar los periodos de captación solar.



Figura 5.7: Simulación instalación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)

5.3.4. Selección del inversor

Una vez definidos los paneles solares, su potencia, número total y distribución sobre el tejado, se procede a seleccionar un inversor que se adapte a los características eléctricas de la instalación. Según la distribución diseñada, cada panel tiene una tensión de máxima potencia (V_{mp}) de 44,64 V y una corriente de máxima potencia (I_{mp}) de 13,33 A. Para esta configuración, se ha planteado una disposición de 8 *strings* de 20 paneles en serie cada uno, lo que resulta en una tensión por *string* de aproximadamente:

$$V_{string} = 20 \times 44,64 \text{ V} = 892,8 \text{ V} \quad [5.4]$$

En cuanto a la corriente por *string*, visto que en cada string los paneles están conectados en serie, quedaría una corriente de 13,33 A. Para adaptarse a la tensión de 892,8 V, se propone el inversor **Huawei SUN2000-100KTL-M1**, con un rango de tensión por string de hasta 1000 V. Las características de este inversor se detallan en el Cuadro 5.7.

Modelo	Huawei SUN2000-100KTL-M1
Potencia nominal de salida (AC)	100 kW
Número de MPPTs	10
Entradas totales (strings)	20 (2 por MPPT)
Rango de tensión de operación MPPT	200 V – 1000 V
Corriente máxima por MPPT	26 A
Eficiencia máxima	98,8 %
Protección IP	IP66 (exterior)

Cuadro 5.7: Especificaciones técnicas del inversor seleccionado (Fuente: Huawei, 2025)

El inversor seleccionado ofrece una eficiencia máxima de 98,8 %, y cuenta con 10 seguidores del punto de máxima potencia (MPPTs) independientes, pudiendo gestionar hasta 20 *strings*, cubriendo así la configuración de este proyecto (8 *strings*). Este modelo ofrece además monitorización a nivel de string, protección contra sobretensiones y aislamiento galvánico, garantizando un alto nivel de seguridad y control.

5.4 EVALUACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO

Disponiendo ya de toda la información necesaria relativa al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se ha elaborado el Cuadro 5.8 donde se compara la demanda eléctrica estimada por mes del año, y se compara con la generación fotovoltaica esperada para ese mismo mes. Para la estimación de la generación se ha hecho uso de la Ecuación 5.2 presentada anteriormente, y se le ha aplicado al resultado un factor penalizante del 10 % debido a la decisión de no optar por la disposición teórica de máxima eficiencia de orientación sur e inclinación de 35°.

Mes	Demanda [kWh]	Generación [kWh]	Cobertura [%]
Enero	20.525,70	7.974,32	38,9
Febrero	20.996,58	11.311,50	53,9
Marzo	26.334,77	12.724,89	48,3
Abril	25.677,78	16.196,12	63,1
Mayo	29.681,94	15.534,72	52,3
Junio	28.907,36	14.275,27	49,4
Julio	27.374,23	17.191,16	62,8
Agosto	27.801,95	16.934,11	60,9
Septiembre	30.798,90	13.110,83	42,6
Octubre	30.800,98	10.112,45	32,8
Noviembre	29.393,48	6.642,69	22,6
Diciembre	23.843,04	5.934,16	24,9
Total	322.136,71	147.942,22	45,9

Cuadro 5.8: Balance mensual demanda y generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Analizando los resultados se puede concluir que para este proyecto no se prevé que la generación supere la demanda en ninguno de los meses, asumiendo un funcionamiento comercial habitual. En el mes de abril, una baja demanda eléctrica y una elevada generación fotovoltaica llevan al sistema a cubrir casi dos tercios de la demanda, mientras que en los meses más fríos, generalmente más nublados y con menos horas

de luz diarias, la baja generación fotovoltaica prevé cubrir una parte porcentual de la demanda mucho menor.

La generación anual total del sistema fotovoltaico instalado prevé alcanzar unos 148 MWh, con la que se lograría cubrir un 45,9% de la demanda anual estimada para el Palacio. Este porcentaje de autoconsumo, pese a no estar cerca del 100%, resulta un valor excelente considerando las concesiones que se han hecho en favor de la protección patrimonial del Palacio. Los datos de la tabla anterior se han representado en la Figura 5.8, donde se puede ver de forma más directa la cobertura porcentual de la generación eléctrica frente a la demanda del edificio.

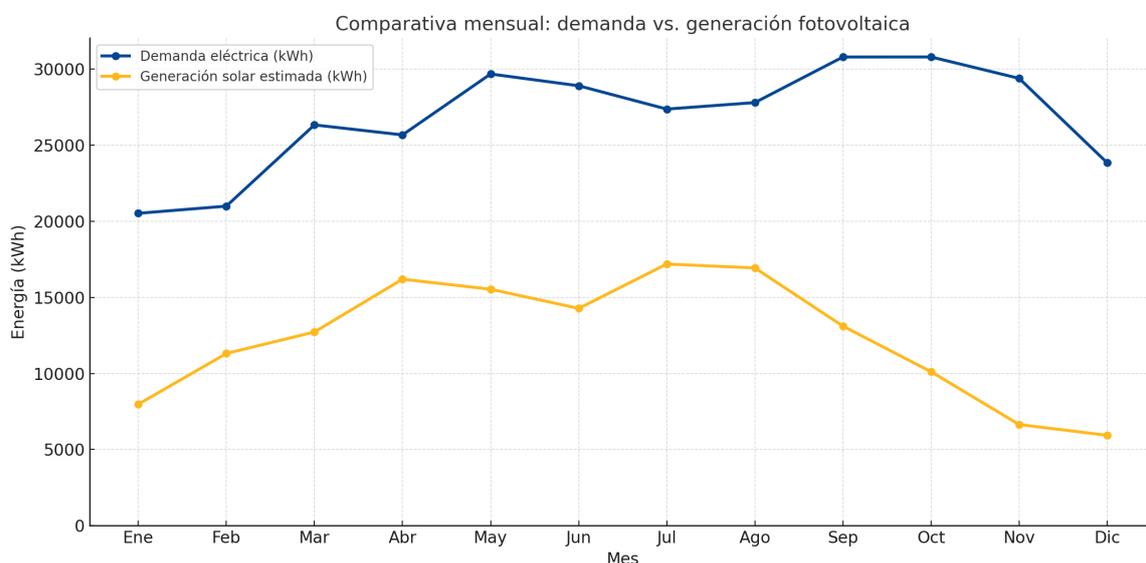


Figura 5.8: Gráfica demanda frente a generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)

5.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Tras la evaluación de las condiciones climáticas y la demanda eléctrica, en este capítulo se ha diseñado una instalación fotovoltaica eficiente, integrada, y adaptada a las necesidades específicas del Palacio. La propuesta final contempla la instalación de 160 paneles solares de 590 Wp distribuidos simétricamente en ambos faldones del tejado a dos aguas en disposición coplanar este-oeste. Estos 160 paneles representan una potencia total instalada de 94,4 kWp, lo que permite mantenerse por debajo del límite legal de 100 kWp correspondiente al autoconsumo con excedentes y compensación. Se estima una generación anual de 147.942 kWh, con lo que se lograría cubrir un

45,9% de la demanda eléctrica total del edificio. Con esto, se cumplen los objetivos de eficiencia, sostenibilidad, y protección del patrimonio histórico definidos al inicio del trabajo. En el siguiente capítulo se evaluará la viabilidad económica de las soluciones propuestas hasta el momento, valorando la rentabilidad de la inversión inicial en función del potencial de ahorro energético de cada una, y se propondrá un modelo de negocio adaptado que justifique la rentabilidad de la inversión.

6 ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y RESULTADOS

En este apartado se pretende evaluar la viabilidad económica de todas las intervenciones propuestas a lo largo del proyecto y estimar su retorno en términos de ahorro energético. En primer lugar, se estimará el coste de la inversión inicial a modo de Capital Expenditure (CAPEX), y se valorará frente a los ahorros operativos anuales, Operational Expenditure (OPEX), derivados de las mejoras energéticas. Más adelante, se propondrá un modelo de negocio adaptado a los espacios del Palacio, con el que se estimarán los ingresos que permitan acelerar el retorno de la inversión inicial.

6.1 INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)

Para estimar el coste de cada una de las medidas se ha hecho uso del generador de precios de CYPE¹, en el apartado de rehabilitación. Estos precios han servido de guía, pero en ocasiones ha sido necesario adaptarlos o escalarlos a las necesidades concretas del proyecto. El orden es el mismo que se ha seguido a lo largo del trabajo; comenzando por la sustitución de luminarias antiguas por opciones más eficientes, se seguirá con las mejoras en aislamiento y cerramientos acristalados, pasando por la solución de aerotermia propuesta y terminando por analizar los costes de la instalación fotovoltaica completa.

6.1.1. Iluminación

Esta primera intervención consiste simplemente en la sustitución de lámparas anticuadas y de baja eficiencia energética por opciones LED con clasificaciones *Energy-Class* de A. El generador de precios escogido ha sido el de Rehabilitación energética / Iluminación / Lámparas (código: ZIA), y se ha asumido que los tres tipos de lámpara

¹ *Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A. 2025.*

propuestos requieren una mano de obra equivalente. Las lámparas desechadas, más concretamente los 110 tubos fluorescentes sustituidos, serán llevados al punto limpio de Laguna de Duero (5,5 km) sin coste adicional. En el Cuadro 6.1, se detallan los cálculos que resultan en una inversión inicial de 2.484,62 €.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Importe [€]
Iluminación				
Foco LED E27 35W	ud	35	25,00	875,00
Bombilla LED PAR16 7W	ud	69	2,00	138,00
Tubo LED PHILIPS T8 8W	ud	110	11,00	1.210,00
Subtotal materiales				2.223,00
Oficial 1ª electricista	h	5	21,78	108,90
Ayudante electricista	h	5	20,80	104,00
Subtotal mano de obra				212,90
Costes directos complementarios	%	2	2.435,90	48,72
Costes directos				2.484,62
Total inversión iluminación				2.484,62

Cuadro 6.1: Inversión prevista renovación sistema de iluminación (Fuente: Elaboración propia, 2025)

6.1.2. Aislamiento y cerramientos acristalados

Para una correcta estimación de las soluciones de aislamiento propuestas es necesario calcular las superficies sujetas a aislamiento. Como se mencionó en el capítulo de Selección de Tecnologías, las soluciones de aislamiento son las siguientes: pintura térmica para los muros exteriores del Palacio, rollo aislante de polyester reciclado de 50 mm para las paredes delimitantes del sótano, y el mismo rollo pero de 100 mm de espesor para el entretecho del Palacio y de la Gran Sala. Las superficies verticales se han estimado midiendo el perímetro con SketchUp y multiplicando por la altura vertical, mientras que para las superficies horizontales (entretechos), se ha hecho uso de los planos arquitectónicos originales. Para los aislantes verticales se ha incluido un factor de corrección para restar a la superficie total la superficie de puertas y ventanas que no forman parte del muro. Se ha incluido también la superficie total de ventanas y puertas acristaladas, utilizando los datos recavados de la inspección inicial del Palacio. Todos estas superficies se resumen en el Cuadro 6.2.

Zona	Perímetro [m]	Altura [m]	Corrección	Superficie [m ²]
Muros planta baja	154	3,5	0,95	512,05
Muros planta 1	81	3,0	0,85	206,55
Muros planta 2	71	3,0	0,85	181,05
Paredes sótano	88	2,5	1,00	220,00
Entretecho Palacio	-	-	-	143,00
Entretecho GranSala	-	-	-	838,00
Acristalamientos	-	-	-	28,00

Cuadro 6.2: Estimación de superficies a aislar (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Conociendo ya las superficies que requieren aislamiento, se han generado los precios de la instalación de aislamiento y ventanas, separada en cuatro bloques: aislamiento de los entretechos del Palacio y la Gran Sala, aislamiento de las paredes del sótano, la pintura térmica exterior del Palacio y finalmente el doble acristalamiento instalado sobre los vidrios existentes. Dentro de la herramienta CYPE se ha recurrido tanto al apartado de Aislamientos e impermeabilizantes / Aislamientos térmicos (código: NA), para el material aislante, como al apartado de Carpintería, cerrajería, vidrios y protecciones solares / Vidrios / Doble acristalamiento (código: LVC) para los cerramientos acristalados. El cálculo de los costes para cada una de las medidas, así como el coste total previsto se detallan en los Cuadros 6.3 y 6.4.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Importe [€]
Aislamiento entretecho (Gran Sala + Palacio)				
Thermafleece SupaSoft rollo 100 mm	m ²	981,00	10,00	9.810,00
Cinta autoadhesiva sellado juntas	m	900	0,29	261
Subtotal materiales				10.071,00
Oficial 1 ^a montador aislamientos	h	78	21,78	1.687,93
Ayudante montador aislamientos	h	78	20,80	1.622,40
Subtotal mano de obra				13.381,33
Costes directos complementarios	%	2	13.381,33	267,63
Costes directos				13.648,96

Cuadro 6.3: Inversión prevista en aislamiento y cerramientos 1/2 (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Importe [€]
Aislamiento paredes sótano				
Thermafleece SupaSoft rollo 50 mm	m ²	220,00	5,00	1.100,00
Fijación mecánica	ud	1320	0,13	171,60
Subtotal materiales				1.271,60
Oficial 1ª montador aislamientos	h	22	21,78	479,16
Ayudante montador aislamientos	h	22	20,80	457,60
Subtotal mano de obra				936,76
Costes directos complementarios	%	2	2.208,36	44,17
Costes directos				2.252,53
Pintura térmica muros exteriores del Palacio				
EGA Fonothermal pintura térmica	m ²	899,65	8,50	7.647,03
Subtotal materiales				7.647,03
Oficial 1ª montador aislamientos	h	57	21,78	1.241,46
Ayudante montador aislamientos	h	29	20,80	603,20
Oficial 1ª revocador	h	63	21,19	1.334,97
Peón especializado revocador	h	63	21,16	1.333,08
Subtotal mano de obra				4.512,71
Costes directos complementarios	%	2	12.159,74	243,19
Costes directos				12.402,93
Doble acristalamiento ventanas				
Guardian ClimaGuard 1.0+	m ²	28,00	160,00	4.480,00
Cartucho 310 ml silicona neutra	ud	17	5,49	93,33
Material auxiliar colocación vidrio	ud	28	1,20	33,60
Burlete adhesivo AXTON 6m	ud	5	5,50	27,50
Subtotal materiales				4.634,43
Oficial 1ª cristalero	h	11	22,57	248,27
Ayudante cristalero	h	11	22,15	243,65
Subtotal mano de obra				491,92
Costes directos complementarios	%	2	5.126,35	102,527
Costes directos				5.228,88
Total inversión aislamiento y cerramientos acristalados				33.533,30

Cuadro 6.4: Inversión prevista en aislamiento y cerramientos 2/2 (Fuente: Elaboración propia, 2025)

6.1.3. Climatización y ACS por aerotermia

De la misma manera, para el cálculo de la inversión de la sustitución del sistema original de gasoil por la opción de aerotermia se ha utilizado la herramienta de CYPE, en el apartado de Rehabilitación Energética / Calefacción, climatización y A.C.S. (código: ZC). Sin embargo, este cálculo se ha tenido que dividir en dos etapas: por un lado, el desmontaje de la caldera de gasoil original (código: ZCD), y por otro lado la instalación del sistema nuevo (código: ZCV). Para este último se han tenido que añadir materiales que no se habían considerado por el generador de precios; el acumulador de ACS, el depósito de inercia y el controlador de cascada. El presupuesto total de las dos etapas se detalla en el Cuadro 6.5.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Importe [€]
Desmontaje caldera gasoil original				
Grúa autopropulsada brazo telescópico	h	2,3	54,88	126,22
Subtotal equipo y maquinaria				126,22
Oficial 1ª calefactor	h	8	23,74	189,92
Ayudante calefactor	h	11	21,90	175,20
Subtotal mano de obra				365,12
Costes directos complementarios	%	2	491,34	9,83
Costes directos				501,17
Instalación sistema aerotermia de calefacción, refrigeración, y ACS				
Bomba Panasonic ECOi-W 80 kW	ud	6	35.000,00	210.000,00
Depósito de inercia 3.500 L	ud	1	5.000,00	5.000,00
Acumulador ACS 2.000 L	ud	1	4.000,00	4.000,00
Controlador en cascada	ud	1	2.000,00	2.000,00
Válvula de esfera de latón roscar 3/4"	ud	50	7,30	365,00
Subtotal materiales				221.365,00
Oficial 1ª instalador climatización	h	46	23,74	1.092,04
Ayudante instalador climatización	h	46	21,90	1.007,40
Subtotal mano de obra				2099,44
Costes directos complementarios	%	2	223.464,44	4.469,29
Costes directos				227.933,73
Total inversión sistema aerotermia calefacción, refrigeración y ACS				228.434,90

Cuadro 6.5: Inversión prevista aerotermia climatización y ACS (Fuente: Elaboración propia, 2025)

6.1.4. Instalación fotovoltaica

Por último, para la instalación fotovoltaica se recurre a la sección de Rehabilitación energética / Instalaciones eléctricas / Solar fotovoltaica (código: ZEF). Para este cálculo, el generador de precios no ha tenido en cuenta gastos como aparatos eléctricos menores, cableado, o protecciones, pero se ha asumido que estos gastos serían prácticamente despreciables en comparación con el coste de los paneles, la mano de obra, o la inversión total del proyecto. El Cuadro 6.6 detalla el cálculo del coste total de la instalación de generación fotovoltaica.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Importe [€]
Instalación de generación fotovoltaica				
Módulo solar FV JA Solar 590 Wp	ud	160	95,00	15.200,00
Inversor trifásico Huawei 100 kW	ud	1	5.500,00	5.500,00
Estructura soporte cubierta inclinada	ud	160	27,70	4.432,00
Armario de conexiones monobloc	ud	2	64,63	129,26
Subtotal materiales				25.261,26
Oficial 1ª instalador captadores solares	h	320	21,78	6.969,60
Ayudante instalador captadores solares	h	320	20,75	6.640,00
Oficial 1ª electricista	h	180	21,78	3.920,40
Ayudante electricista	h	180	20,75	3.735,00
Subtotal mano de obra				21.265,00
Costes directos complementarios	%	2	46.526,26	930,53
Costes directos				47.456,79
Total inversión instalación fotovoltaica				47.456,79

Cuadro 6.6: Inversión prevista instalación generación fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia, 2025)

6.1.5. Inversión total prevista

La inversión total prevista de los cuatro bloques se resume en el Cuadro 6.7, con el que se ha computado un importe global para la totalidad del proyecto de 311.093,61 €. Esta misma tabla se ha representado en un gráfico de sectores con el que se visualiza de forma clara la proporción de la inversión de cada medida implementada sobre la inversión total, Figura 6.1.

Área de mejora	Inversión prevista [€]
Iluminación	2.484,62
Aislamiento y cerramientos acristalados	33.533,30
Climatización y ACS por aerotermia	228.434,90
Instalación fotovoltaica	46.640,79
Inversión total prevista	311.093,61

Cuadro 6.7: Estimación inversión total prevista del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Distribución de la inversión prevista por bloque de mejora

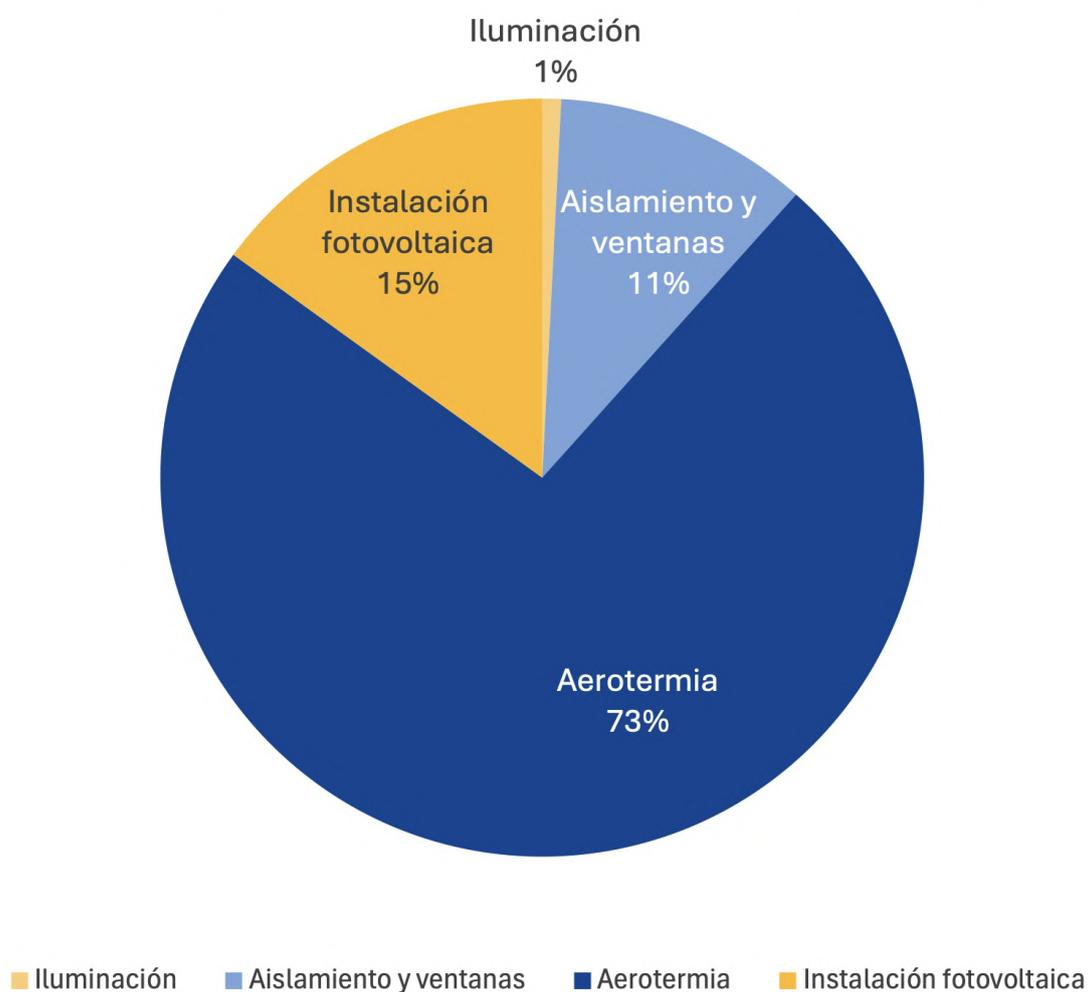


Figura 6.1: Distribución inversión prevista por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)

6.2 AHORRO OPERATIVO ANUAL (OPEX)

Conociendo la inversión inicial, en este segundo apartado se estiman el ahorro económico del Palacio gracias a las intervenciones propuestas. Se seguirá el mismo orden lógico que para el apartado anterior.

6.2.1. Iluminación

Empezando por el ahorro eléctrico de iluminación, en este trabajo se ha logrado reducir la potencia demandada por las instalaciones lumínicas en un 22 %; de 15,4 kW a tan solo 12,0 kW. Este cálculo se detalla en el Cuadro 3.2 del capítulo de Evaluación de Necesidades Energéticas. Para el cálculo del ahorro energético anual, se tomó una posición conservadora asumiendo un uso diario de 12 h de iluminación, combinado con un factor de simultaneidad de 0,8. Esta diferencia se ha multiplicado por 365 días al año, cuando en la realidad será algo menos debido a festivos, etc. El cálculo global del ahorro energético anual gracias a las mejoras en iluminación se detalla en la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro anual} = (15,4 - 12,0) \text{ kW} \cdot 12 \text{ h/día} \cdot 0,8 \cdot 365 \text{ días/año} = \boxed{11.913,60 \text{ kWh/año}}$$

6.2.2. Aislamiento y cerramientos acristalados

El ahorro energético en este bloque se debe a la reducción de la demanda térmica del edificio gracias a la pintura aislante, la capa de rollo aislante en los entretechos, y el aislamiento del sótano. Estas medidas reducen alrededor de un 12 % (varía según el clima) la energía que el sistema de aerotermia debe generar para climatización y ACS. Para lograr una estimación realista, se ha calculado el ahorro energético debido al efecto de las medidas pasivas propuestas asumiendo condiciones de demanda térmica en las que ya está instalado el sistema de aerotermia, ya que este será el ahorro real que se debe tener en cuenta una vez se hayan implementado todas las medidas. Para mantener una posición de estimación prudente, el cálculo se ha realizado con los valores de demanda en verano, que ofrecen un ahorro energético ligeramente más bajo.

$$\text{Ahorro anual} = \frac{(210,39 - 186,44) \text{ kW}}{4 (COP)} \cdot 9 \text{ h/día} \cdot 100 \text{ días/año} = \boxed{5.388,75 \text{ kWh/año}}$$

Para el cálculo se asumen a su vez los siguientes valores: 9 horas de uso de climatización, y un COP de 4 (400% de eficiencia) proveniente del sistema de aerotermia implementado. El cálculo resulta en un ahorro energético de unos 50 kWh diarios, que asumiendo un uso de climatización conservador de unos 100 días al año, resulta en un ahorro total de 5.388,75 kWh/año.

6.2.3. Climatización y ACS por aerotermia

En este bloque se cuantifica el ahorro relativo a la sustitución de la caldera de gasoil original del edificio por la nueva instalación de climatización y ACS basada en la aerotermia. La interpretación física de este ahorro sería la energía del gasoil que se ha dejado de consumir menos la energía (muy inferior) que se usará en el nuevo sistema. De la misma forma que en el bloque de aislamiento, estos cálculos se refieren a una situación en la que todas las medidas estén ya implementadas, por lo que el ahorro relativo a climatización y ACS se calculará teniendo en cuenta las medidas pasivas anteriores.

Para mantener una posición conservadora y evitar sobredimensionar el ahorro, se volverá a asumir un uso de climatización diaria de 9 horas, 100 días de climatización al año (dada la estacionalidad del uso del Palacio), y se utilizará la demanda térmica correspondiente a los meses de verano: 186,44 kW. El ahorro derivado de la diferencia de consumo entre gasoil y aerotermia se detalla en el siguiente cálculo:

$$\text{Ahorro anual} = \left(\frac{186,44 \text{ kW}}{0,85} - \frac{186,44 \text{ kW}}{4} \right) \cdot 9 \text{ h/día} \cdot 100 \text{ días/año} = \boxed{155.458,06 \text{ kWh/año}}$$

Un ahorro de más de 150 MWh/año parecería muy alto, pero es totalmente plausible dada la elevada inversión en un potente sistema de aerotermia de 6 bombas de 80 kW cada una. Este sistema no solo reduce el consumo, sino que cambia por completo la fuente de energía; desde un combustible fósil a una fuente de energía renovable, librando al planeta de la combustión de casi 40.000 litros de gasoil anualmente.

6.2.4. Instalación fotovoltaica

Por último, el ahorro energético derivado de la instalación fotovoltaica más bien representa la energía solar generada por los paneles que evita tener que extraer esa misma energía de la red eléctrica. La energía solar generada anualmente por la instalación solar diseñada se calculó en el capítulo anterior, Cuadro 5.8, y resulta en unos 147.942,22 kWh/año (45,9% de la demanda energética del edificio).

$$\text{Ahorro anual} = \boxed{147.942,22 \text{ kWh/año}}$$

6.2.5. Ahorro energético total previsto

Los ahorros de los cuatro bloques principales de mejora energética se han resumido en el Cuadro 6.8. El bloque con el mayor impacto sobre la factura eléctrica, es la instalación del nuevo sistema de aerotermia. No obstante, esto se balancea con su elevada inversión inicial. A esta, le sigue de cerca la generación fotovoltaica, y luego, muy por debajo, las mejoras en iluminación, y en aislamiento, siendo esta última la más baja, con un ahorro de en torno a 5000 kWh/año. En la Figura 6.2, se han representado gráficamente los ahorros anuales de las cuatro áreas de mejora de la tabla.

Área de mejora	Ahorro energético anual [kWh/año]
Iluminación	11.913,60
Aislamiento y cerramientos acristalados	5.388,75
Climatización y ACS por aerotermia	155.458,06
Instalación fotovoltaica	147.942,22
Ahorro total previsto	320.652,63

Cuadro 6.8: Estimación ahorro energético por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)

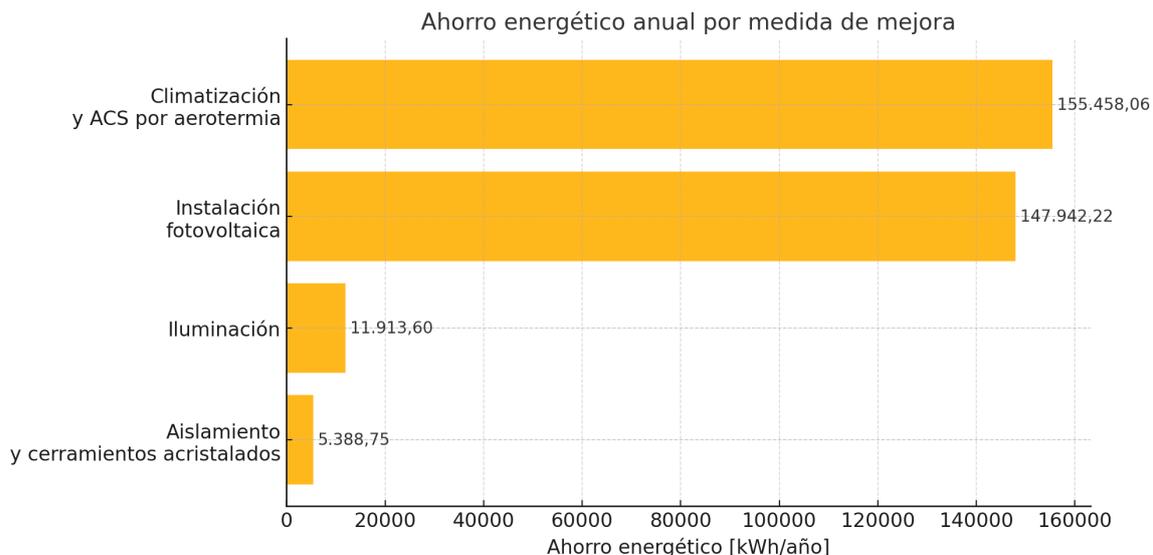


Figura 6.2: Gráfica comparativa ahorro energético de cada mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Ahora que se tiene la estimación de los ahorros para los cuatro bloques de medidas es directo calcular el ahorro económico y el ahorro en términos de CO₂ liberado a la atmósfera. Para ello, se asume un precio de la electricidad² de unos 0,142 €/kWh, siendo este el precio medio de 2025 hasta la fecha, en España, y un valor de 0,108 kgCO₂/kWh, como se ha cuantificado como promedio³ a lo largo de 2024. Para estimar el ahorro en aerotermia se ha asumido que el precio por kWh del gasoil y de la electricidad son equivalentes. El cálculo de todos los ahorros; tres categorías para las cuatro áreas de mejora se desarrollan en el Cuadro 6.9.

Bloque	Energético [kWh/año]	Económico [€/año]	Emisiones [kgCO ₂ /año]
Iluminación	11.913,60	1.691,73	1.286,67
Aislamiento	5.388,75	765,20	581,99
Aerotermia	155.458,06	22.075,04	16.789,47
Fotovoltaica	147.942,22	21.007,80	15.977,76
Total anual	320.702,63	45.539,77	34.635,88

Cuadro 6.9: Ahorros anuales estimados por bloque de mejora (Fuente: Elaboración propia, 2025)

²Iberdrola 2025.

³Nowtricity.com 2024.

6.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD (AHORRO PURAMENTE ENERGÉTICO)

En este apartado se va a evaluar la viabilidad económica de la inversión inicial de 311.093,61 € frente a los ahorros energéticos anuales equivalentes a 45.539,77 €. Por ahora, se han excluido los posibles ingresos derivados del uso comercial del edificio, centrandolo el análisis en el ahorro puramente energético del Palacio tras las reformas.

Con una simple división de la inversión inicial entre el ahorro operacional anual se obtiene un periodo de retorno simple (payback simple) de tan solo 6,8 años, Ecuación 6.1. Este valor, resulta bajo en el contexto de rehabilitación de construcciones históricas, donde los periodos de retorno de la inversión suelen superar la década.

$$\text{Payback} = \frac{311.093,61}{45.539,77} = \boxed{6,8 \text{ años}} \quad [6.1]$$

En la Figura 6.3 se representa de forma visual el retorno acumulado del proyecto, comparando la inversión inicial con los ahorros generados (gastos evitados) cada año. Como se ha estimado, a partir del séptimo año de utilización del edificio, asumiendo ingresos comerciales nulos, la inversión inicial queda totalmente amortizada.

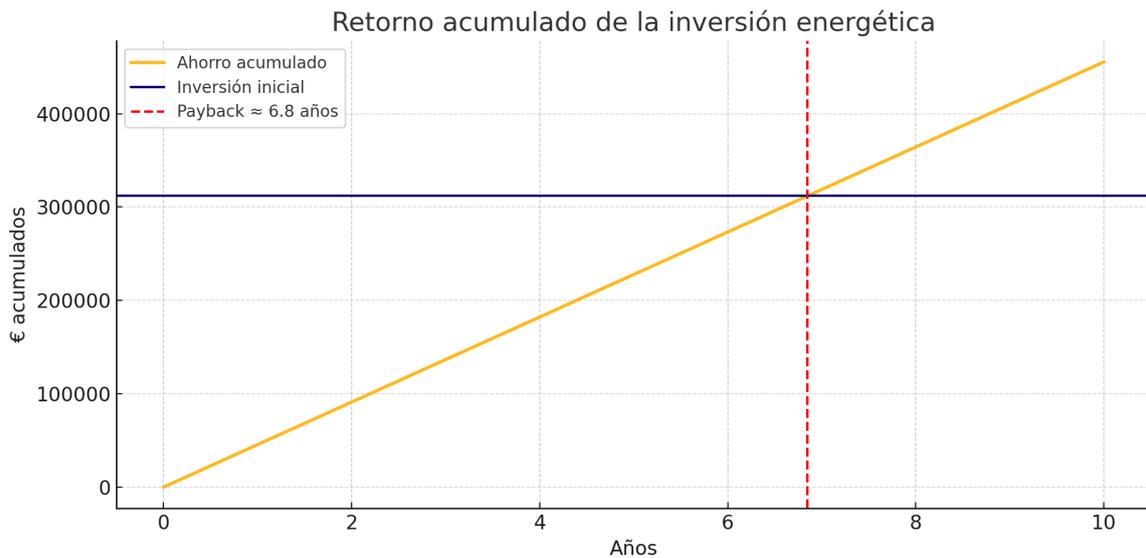


Figura 6.3: Retorno acumulado de la inversión y payback (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Dada esta rápida amortización, se hará uso de otros dos indicadores económicos para validar la rentabilidad del proyecto; Valor Actual Neto (VAN), y Tasa Interna de Rentabilidad (TIR). Para ello, se ha asumido un horizonte de proyecto conservador de unos 25 años (vida útil estimada de las medidas de rehabilitación energética instaladas), y una tasa de descuento i de un 4 %, para contabilizar el coste de oportunidad del proyecto. Esta información económica del proyecto se resume en el Cuadro 6.10.

Indicador	Valor
Inversión Inicial Total (CAPEX)	311.093,61 €
Ahorro Anual Total (OPEX)	45.539,77 €
Período de Retorno Simple (Payback)	6,8 años
Horizonte del Proyecto (N)	25 años
Tasa de Descuento (i)	4 %

Cuadro 6.10: Información económica del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)

El primer indicador global calculado ha sido el VAN del proyecto, cuya fórmula se detalla en la Ecuación 6.2. Este indicador mide la rentabilidad de un proyecto de forma absoluta, reflejando el valor presente de los flujos de efectivo futuros del proyecto. Adaptándolo a este caso, ya que se habla en términos de ahorro, y no de flujo de caja, más bien representaría el valor monetario actual de los gastos evitados gracias a las mejoras detalladas en el proyecto, a lo largo de los años.

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t} - INV \quad [6.2]$$

Donde:

- VAN: Valor Actual Neto del proyecto [€]
- F_t : Flujo de caja neto en el periodo t [€]
- i : Tasa de descuento o coste de capital [%]
- t : Año correspondiente dentro del horizonte del proyecto
- INV : Inversión inicial del proyecto [€]

Computando esta ecuación con los valores establecidos se obtiene un VAN de **399.512,32 €**. Este resultado demuestra la elevada rentabilidad de las intervenciones propuestas a largo plazo, en términos de ahorro económico, que lleva a justificar la inversión inicial.

Por otro lado, se ha evaluado la rentabilidad del proyecto de forma relativa según a otro indicador relacionado. Conocido como TIR, este otro indicador representa la tasa de descuento i que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero. En otras palabras, refleja la tasa a la que los flujos de efectivo esperados, ahorros en este caso, igualan la inversión inicial.

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t} - INV \quad [6.3]$$

Donde:

- TIR: Tasa Interna de Retorno [%]
- F_t : Flujo de caja neto en el periodo t [€]
- t : Año correspondiente dentro del horizonte del proyecto
- INV : Inversión inicial del proyecto [€]

Utilizando la Ecuación 6.3, e introduciendo los valores del Cuadro 6.10, se logra despejar un TIR de **14 %**. Esta métrica refuerza la elevada rentabilidad del proyecto, lo que lo hace una inversión muy atractiva desde un punto de vista financiero. El VAR y el TIR se resumen en el Cuadro 6.11.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAR)	399.512,32 €
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	14 %

Cuadro 6.11: Indicadores VAR y TIR del proyecto (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Para evaluar más a fondo la rentabilidad de las medidas propuestas, se ha decidido calcular estos mismos indicadores económicos para cada una de las áreas de mejora por separado, con el objetivo de comparar sus rentabilidades individuales. El payback, VAR y TIR de cada medida individual se desglosan en el Cuadro 6.12

Área	Inversión [€]	Ahorro [€]	Payback [años]	VAN [€]	TIR [%]
Iluminación	2.484,62	1.667,90	1,5	23.571,45	67
Aislamiento	33.533,30	754,43	44,4	-21.747,53	-4 %
Aeroterminia	228.434,90	21.764,13	10,4	451.567,06	19
Fotovoltaica	46.640,79	20.711,91	2,3	276.922,32	44

Cuadro 6.12: Indicadores individuales por área de medida (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Este desglose permite observar como la sustitución de lámparas antiguas por equivalentes con tecnología LED tiene la mejor rentabilidad económica de entre todas las opciones; la pequeña inversión (1 % del presupuesto global) resulta en un ahorro económico significativo que permite amortizar la inversión en tan solo un año y medio. Sin embargo, el análisis también indica que la instalación de aislamiento térmico y la mejora de eficiencia de las ventanas y puertas acristaladas tiene una rentabilidad muy baja en comparación con las otras medidas, en términos económicos. De hecho, este área de mejora resulta en valores negativos, tanto para el VAN como para el TIR, requiriendo más de 44 años para amortizar la inversión inicial.

Esta métrica económica aconsejaría descartar esta mejora directamente y centrar la rehabilitación en las otras tres de rendimientos muy superiores. No obstante, este área de mejora, a diferencia de las otras, tiene una vida útil prácticamente infinita, ya que una vez instalado el aislamiento (exceptuando la pintura térmica que requiere repintar cada 10 años aproximadamente) o el doble acristalamiento, estos se quedan ahí de forma permanente, y no requieren apenas mantenimiento. Además, la aplicación de esta medida pasiva ayuda, de forma indirecta, a reducir el consumo del sistema de aeroterminia, evitando la liberación de toneladas de CO₂ anualmente a la atmósfera. Con un impacto ambiental positivo que va más allá de los 25 años, y contando con otras tres medidas que cubren con creces las pérdidas económicas de esta, se ha decidido seguir adelante con las cuatro intervenciones originales.

6.4 MODELO DE NEGOCIO PROPUESTO

Con el objetivo de amortizar la inversión inicial de la rehabilitación completa se propone un modelo de negocio doble y complementario adaptado a los espacios del Palacio que permite maximizar su explotación comercial. Los ingresos fruto de este modelo serán contrastados con la inversión inicial y se calcularán de nuevo los indicadores económicos con los que se estimará la rentabilidad real del negocio.

6.4.1. Celebraciones y eventos

En primer lugar, se ofrecen los espacios principales del Palacio, tanto interiores (salones, comedores, Gran Sala) como exteriores (los dos jardines), para grandes celebraciones; desde bodas, hasta eventos corporativos importantes. Este, sin duda, es el modelo de mayor valor añadido, en el que se explota casi la totalidad del Palacio de forma combinada: la Gran Sala para bailes y ceremonias, los salones históricos para el catering, y los jardines exteriores para el cóctel de bienvenida e incluso casamientos civiles. En el Cuadro 6.13 se resume la capacidad máxima de personas de cada uno de estos espacios:

Espacio	Capacidad [personas]
Jardines (La Pérgola + El Patio)	1400
Gran Sala	800
Cenador de los Condes	56
Salón de los Escudos	30
Salón Gamazo	22
Despacho de Don Germán	12

Cuadro 6.13: Capacidad de los espacios explotables del Palacio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Sumando la capacidad de todos los salones y comedores explotables para restauración da un total de 120 comensales. Para no limitar la capacidad del evento a 120 invitados a causa del espacio de restauración, se ha dividido el modelo de negocio de grandes celebraciones en dos paquetes: con restaurante o sin restaurante. En primer lugar, el **Paquete Bodas** se ha limitado a 120 personas, asumiendo que la totalidad

los invitados consume del servicio de restauración del Palacio. Este paquete vale tanto para bodas como para grandes comidas y cenas de empresa con celebración. Por otro lado, está el **Paquete Eventos**, el cual no hará uso de los comedores y limitará la festividad a la Gran Sala. Este otro paquete, más adaptado a entregas de premios, desfiles de moda o exposiciones culturales, tiene un límite de capacidad teórico de unos 800 invitados, ya que prescinde del servicio de restauración.

Para dimensionar la actividad comercial relativa al Paquete Bodas, se ha hecho un breve estudio de la competencia; se han analizado edificios históricos de características similares que ofrezcan sus espacios para festividades y bodas en los alrededores de Valladolid. Utilizando la página web Bodas.net se ha encontrado como competencia directa El Palacio del Postigo⁴. Este palacio de estilo mudéjar del siglo XVI, reformado para satisfacer necesidades de confort modernas, se encuentra en Mojados (Valladolid), a tan solo 25 km del centro de la ciudad de Valladolid. Con capacidad máxima para 200 invitados, el Palacio de Postigo ofrece banquetes de boda a partir de 100,00 € por invitado.

Usando esta información como guía, y corrigiendo el precio del menú por proximidad (Boecillo está a solo 14 km), y por reputación histórica (conocido en Valladolid como el antiguo Casino de Castilla y León), se estima un precio conservador medio por menú de unos 120,00 €/invitado. Asumiendo un coste del menú (comida, personal, mantelería, etc.) de unos 90,00 €, se estima unos 30,00 € de beneficio bruto por menú. El precio del menú incluiría el acceso al Palacio y el cóctel de bienvenida en los jardines. Por otro lado, el coste de alquilar la Gran Sala, a modo de salón de celebraciones con barra libre sumaría otros 3.000,00 € al precio del banquete, a los que habría que restar 1.000,00 € en costes relacionados con el servicio; bebida, personal, etc.

Tomando una posición conservadora, asumiendo que en los primeros años de negocio la actividad comercial sería algo más baja que en años posteriores, se han proyectado unas 15 bodas al año, que equivaldría a unas tres bodas mensuales en los cinco meses de temporada alta de bodas: de mayo a septiembre. Para cada una de las bodas se han estimado unos 100 invitados. Con estas asunciones, se estima un beneficio bruto unitario de 5.000,00 €, cuyo cálculo se desarrolla en el Cuadro 6.14.

⁴*Palacio del Postigo 2025.*

Paquete Bodas		
Concepto	Desglose cálculo	Importe
A. INGRESOS DEL BANQUETE		
Precio de venta por menú	Valor de mercado ajustado	120,00 €
Nº medio de invitados	Supuesto conservador	100
Ingreso total banquete	120 € × 100 invitados	12.000,00 €
B. COSTES DEL BANQUETE		
Coste estimado por menú	Comida, servicio, mantelería	(90,00 €)
Coste total banquete	(90 € × 100 invitados)	(9.000,00 €)
C. BENEFICIO BRUTO (A - B)	12.000 € - 9.000 €	3.000,00 €
D. INGRESOS ALQUILER GRAN SALA		
Alquiler de Gran Sala y Jardines	Valor de mercado ajustado	3.000,00 €
E. COSTES DIRECTOS DEL ALQUILER		
Personal extra y suministros	Seguridad, limpieza, coordinación	(1.000,00 €)
F. BENEFICIO BRUTO (D - E)	3.000 € - 1.000 €	2.000,00 €
G. BENEFICIO BRUTO TOTAL (C + F)	3.000 € + 2.000 €	5.000,00 €

Cuadro 6.14: Beneficio bruto unitario – Paquete Bodas (Fuente: Elaboración propia, 2025)

El beneficio bruto calculado de 5.000,00 € se multiplica por las 15 bodas anuales proyectadas, obteniéndose un beneficio bruto anual de 75.000,00 €. Con estas estimaciones, la pareja pagaría un total de 15.000,00 € por el Paquete Bodas completo, que encaja perfectamente con la franja promedio de entre 14.600 € y 16.000 € para la provincia de Valladolid, según Chronoshare⁵.

Para eventos de mayores dimensiones, que no requieran el uso limitante de restauración ligado a la capacidad de los comedores, se ha pensado el Paquete Eventos. Este paquete, cuyo aforo está limitado a la capacidad de 800 personas de la Gran Sala, está pensado para eventos como conferencias, entregas de premios y presentaciones. Para estimar los ingresos de este paquete se reutiliza el precio de 3.000,00 € del alquiler de la Gran Sala por jornada. A estos 3.000,00 € se le restan unos 1.000,00 € de costes directos (personal, seguridad, limpieza) por evento. Al Paquete de Eventos se le puede añadir un servicio de catering ligero (café, bebidas, etc.) servido directamente en la Gran Sala por un importe de 1.500,00 €. Este catering conllevaría un coste de unos 700,00 € para el Palacio, dejando un beneficio bruto por catering de unos 800,00 € adicionales. Los cálculos que llevan a un beneficio bruto total de 2.800,00 € se desglosan en el Cuadro 6.15.

⁵Bodas en Valladolid, Precios en 2025.

Paquete Eventos		
Concepto	Desglose del cálculo	Importe
A. INGRESOS TOTALES POR EVENTO		
Alquiler de la Gran Sala	Tarifa base estimada	3.000,00 €
Ingreso adicional por catering ligero	Servicio de café o cóctel	1.500,00 €
Ingreso total por evento	3.000 € + 1.500 €	4.500,00 €
B. COSTES DIRECTOS TOTALES POR EVENTO		
Coste de personal extra y limpieza	Seguridad y limpieza	(1.000,00 €)
Coste del catering ligero	Materias primas y personal mínimo	(700,00 €)
Coste total por evento	(1.000 € + 700 €)	(1.700,00 €)
C. BENEFICIO BRUTO TOTAL (A - B)	4.500 € - 1.700 €	2.800,00 €

Cuadro 6.15: Beneficio bruto unitario – Paquete Eventos (Fuente: Elaboración propia, 2025)

De la misma manera que para el Paquete Bodas, se han proyectado unos 20 eventos anuales de forma conservadora (algo menos de dos eventos al mes), para el primer año, que se espera que sean más con el crecimiento de popularidad del negocio. Se ha asumido que de todos los eventos organizados, solo un 80% de ellos añadiría el complemento de catering. Con esta suposición, se espera recibir un beneficio bruto de otros 52.800,00 € anuales el primer año.

6.4.2. Espacios de trabajo

Dada la alta dependencia estacional de los dos paquetes anteriores en épocas altas de eventos (verano, navidades, etc.), se propone un segundo modelo de negocio que aporte estabilidad financiera, y flujos de caja constantes y predecibles a lo largo de todo el año. Esta última consiste en el alquiler de los 978 m² de espacio útil del sótano como espacios de coworking, y oficinas privadas para profesionales independientes y oficinas satélite de empresas de la zona.

Partiendo del plano del sótano del Palacio en la Figura A.3 del Anexo A, se contabilizan unos 15 espacios explotables de unos 20 m² de media, que podrían utilizarse como oficinas sin la necesidad de realizar restructuraciones y renovaciones invasivas. Estos 15 espacios se han decidido repartir en dos tipos de salas diferentes. Por un lado, 5 oficinas privadas, con un precio de alquiler de 350,00 €/mes cada una que se ha basado en un precio estándar para espacios similares en Valladolid, según *Idealista.com*⁶. Por otro lado, se han proyectado 10 espacios de coworking, que podrían

⁶*Idealista — Oficinas de alquiler en Valladolid 2025.*

albergar hasta 50 profesionales en total, a un precio de alquiler de 120 €/mes/persona (estimado con Workin.space)⁷. Por último, se ha incluido un ingreso de unos 800,00 € mensuales proveniente de dos máquinas expendedoras instaladas en el pasillo de las zonas de trabajo. En el Cuadro 6.16 se detalla el balance de ingresos y costes directos asociados al alquiler de los espacios de trabajo, en términos de beneficio bruto mensual.

Oficinas y Coworking		
Concepto	Desglose del cálculo	Importe
A. INGRESOS MENSUALES ESPACIOS DE TRABAJO		
Alquiler oficinas privadas	350 € x 5	1.750,00 €
Alquiler espacios coworking	120 € x 50	6.000,00 €
Máquinas expendedoras	400 € x 2	800,00 €
Ingreso total por espacios de trabajo	1.750 € + 6.000 € + 800 €	8.550,00 €
B. COSTES DIRECTOS MENSUALES ESPACIOS DE TRABAJO		
Conectividad y software	Valor estimado mercado	(500,00 €)
Suministros básicos (café, impresora, etc.)	Valor estimado	(300,00 €)
Limpieza y mantenimiento	Valor estimado	(1.500,00 €)
Coste total espacio de trabajo	(500 € + 300 € + 1.500 €)	(2.300,00 €)
C. BENEFICIO BRUTO TOTAL (A - B)	8.550 € - 2.300 €	6.250,00 €

Cuadro 6.16: Beneficio bruto mensual – Oficinas y Coworking (Fuente: Elaboración propia, 2025)

La estimación del ingreso potencial total, considerando ocupación máxima de los 15 espacios de trabajo, resultaría en unos 75.000,00 € anuales. Sin embargo, dada la novedad de este modelo de negocio, y un flujo de clientes habitualmente más bajo los primeros años, se ha establecido un porcentaje de ocupación de un 50 % para el primer año. Este porcentaje de ocupación arrojaría el primer año un ingreso de 37.500,00 €, que con una previsión de crecimiento llegaría a 52.500,00 (70 % de ocupación) el segundo año, y hasta un 85 % de ocupación estable al tercer año de uso, que resultaría en unos ingresos constantes anuales de 63.750,00 € a partir de entonces.

Este mismo planteamiento de progresión comercial se ha propuesto para ambos paquetes de celebraciones y eventos. De 15 bodas en el primer año, a 18 el siguiente, y finalmente un valor estable de 20 bodas a partir del tercer año. De la misma manera, para los grandes eventos se pasaría de 20, a 24 y el tercer año a 28. Este beneficio bruto progresivo se ha calculado y resumido en el Cuadro 6.17, y con los valores de beneficio

⁷ *Espacios de coworking en Valladolid 2025.*

bruto estimados para el tercer año, una vez el negocio ha terminado de arrancar, se ha graficado un gráfico de sectores, Figura 6.4.

Línea de Negocio	Año 1	Año 2	Año 3+
Paquete Bodas	75.000 €	90.000 €	100.000 €
Paquete Eventos	52.800 €	63.360 €	73.920 €
Oficinas y Coworking	37.500 €	52.500 €	63.750 €
Beneficio Bruto Total	165.300 €	205.860 €	237.670 €

Cuadro 6.17: Progresión beneficio bruto por unidad de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Beneficio bruto por bloque de negocio

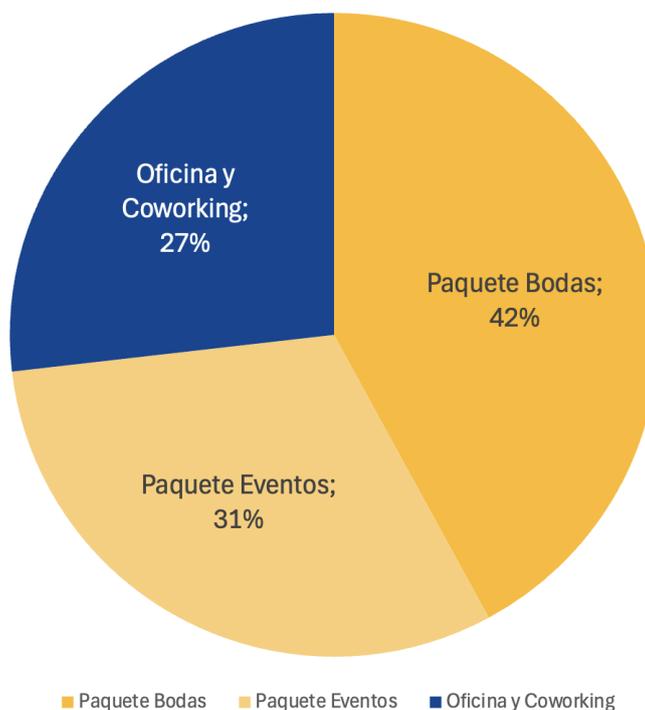


Figura 6.4: Beneficio bruto previsto por bloque de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

A partir de este gráfico, se ve directamente como los paquetes de negocio estacionales, representados en amarillo, forman parte de más del 70 % de los beneficios brutos anuales, donde tan solo un 27 % procede de los espacios de negocio del sótano. Sin embargo, estos últimos serán el ancla empresarial que garantice flujo económico de forma prácticamente estable a lo largo de la totalidad del año. Además, se ha sido conservador asumiendo que tan solo 15 espacios de los 978 m² útiles del sótano se

usarían como oficinas, ya que a futuro, se puede considerar hacer alguna reforma estructural para reconvertir grandes vestuarios y aseos en desuso en al menos otros 5 espacios explotables.

Ahora que se conoce el beneficio bruto anual de la totalidad de la actividad comercial propuesta para el Palacio, se estimarán los costes indirectos más significativos que hacen falta para el correcto funcionamiento del negocio. Al restar estos costes indirectos al beneficio bruto se obtiene una aproximación de los beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización (EBITDA), reflejado anualmente en el Cuadro 6.18.

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3+
A. Beneficio Bruto Total	165.300 €	205.860 €	237.670 €
B. Costes Indirectos Totales			
1. Personal fijo (3 personas)	(100.000 €)	(100.000 €)	(100.000 €)
2. Suministros (agua, luz, etc.)	(30.000 €)	(30.000 €)	(30.000 €)
3. Mantenimiento	(20.000 €)	(20.000 €)	(20.000 €)
4. Seguros y tasas legales	(20.000 €)	(20.000 €)	(20.000 €)
Total Costes Indirectos	(170.000 €)	(170.000 €)	(170.000 €)
C. EBITDA	(4.700 €)	35.860 €	67.670 €

Cuadro 6.18: Costes indirectos anuales y estimación EBITDA (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Analizando la progresión de esta métrica de beneficio neto, se ve como el primer año se espera un beneficio neto negativo. Esto es reflejo de la posición conservadora que se ha tomado a la hora de estimar los beneficios el primer año, asumiendo que a la actividad comercial le tomará unos años arrancar. No obstante, a partir del segundo año, para el que se prevé un crecimiento de la actividad, ya se alcanza un beneficio neto positivo. A partir del tercer año, se espera un beneficio neto de 67.670,00 €.

El indicador EBITDA será el que se use para calcular el VAN, TIR, y el payback de la inversión frente a los beneficios. Sin embargo, desde un punto de vista empresarial, es interesante estimar el beneficio antes de intereses e impuestos (EBIT) del negocio, sumándole al EBITDA el efecto de la amortización de los activos a lo largo de su vida útil. En términos de medidas de mejora energética, excluyendo el bloque de aislamiento y ventanas que no se devalúa, se ha estimado una inversión inicial de 277.560,31 € (311.093,61 € - 33.533,30 €), para un periodo de amortización (vida útil) de 25 años. Aplicando la Ecuación 6.4, se obtiene un factor de amortización anual

de 0,064, que multiplicado por la inversión (INV) según la Ecuación 6.5, se obtiene una amortización anual de 17.767,18 €. Esta se debe restar al EBITDA para obtener una aproximación del EBIT del negocio, que se refleja, de manera informativa, en el Cuadro 6.19.

$$f_a = \frac{i \cdot (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1} = \frac{0,04 \cdot (1 + 0,04)^{25}}{(1 + 0,04)^{25} - 1} = 0,064 \quad [6.4]$$

$$\text{Amortización (A)} = INV \cdot f_a = 17.767,18 \text{ €} \quad [6.5]$$

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3+
C. EBITDA	(4.700 €)	35.860 €	67.670 €
D. Amortización (A)	(17.767,18 €)	(17.767,18 €)	(17.767,18 €)
E. EBIT	(22.467,18 €)	18.092,82 €	49.902,82 €

Cuadro 6.19: Cálculo EBIT a partir de EBITDA y amortización (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Con estos últimos cálculos de indicadores financieros clave, se confirma la salud económica del negocio propuesto, presentando beneficios anuales elevados a partir del segundo año de operación. Además, se han tomado en todo momento valores conservadores, así que, en el caso improbable de que el negocio vaya peor de lo previsto, aún habría margen para obtener ganancias.

6.5 ANÁLISIS DE VIABILIDAD (ACTUALIZADO CON NEGOCIO)

En este apartado, la rentabilidad anual del modelo de negocio propuesto se contrastará con la inversión inicial prevista de 311.093,61 € y se evaluará según los indicadores económicos utilizados con anterioridad: *payback*, VAN y TIR.

En primer lugar, el Cuadro 6.20, muestra de forma sencilla como a partir del séptimo año de actividad comercial se obtiene un retorno completo de la inversión inicial. Un *payback* de algo más de seis años es un valor excelente para un proyecto de estas dimensiones, asumiendo que a partir del séptimo año se acumulará beneficio positivo hasta un horizonte temporal de 25 años. Para representar mejor esta información, se ha graficado la curva del flujo de caja acumulado en función del año en la Figura 6.5.

Año	EBITDA [€]	Acumulado [€]
1	(4.700,00)	(315.793,61)
2	35.860,00	(279.933,61)
3	67.670,00	(212.263,61)
4	67.670,00	(144.593,61)
5	67.670,00	(76.923,61)
6	67.670,00	(9.253,61)
7	67.670,00	58.416,39
8	67.670,00	126.086,39
9	67.670,00	193.756,39
10	67.670,00	261.426,39

Cuadro 6.20: Retorno de inversión desde EBIT anual (Fuente: Elaboración propia, 2025)

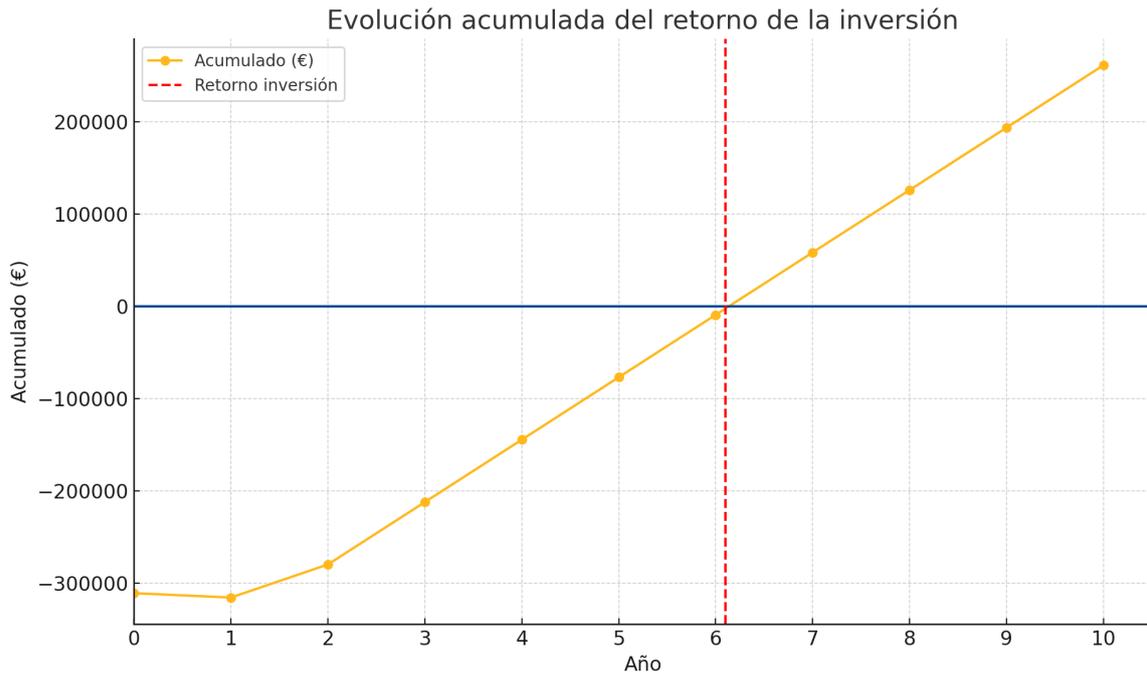


Figura 6.5: Retorno acumulado inversión con modelo de negocio (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Finalmente, se ha construido una tabla de Excel correspondiente e los beneficios a lo largo de los 25 años de vida útil previstos para el proyecto. Con esta, se ha calculado de forma directa el VAN y el TIR utilizando las respectivas fórmulas de Excel. Teniendo en cuenta la inversión inicial de 311.093,61 €, el EBITDA ligeramente negativo del primer año, y una tasa de descuento del 4 %, se obtiene un VAN final de 647.055,87 €. De la misma manera, se ha obtenido un TIR del 17 %, muy por encima de la tasa de descuento conservadora de 4 %.

Indicador	Valor
Retorno de la inversión (Payback)	~ 6,1 años
Valor Actual Neto (VAN)	643.655,29 €
Tasa Interna de Retorno (TIR)	17 %

Cuadro 6.21: Payback, VAN y TIR del proyecto al completo (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Estos últimos indicadores estimados, resumidos en el Cuadro 6.21, refuerzan con creces la rentabilidad aparente del proyecto al completo propuesto para el Palacios de los Condes de Gamazo, convirtiéndolo ya no solo en una decisión concienciada

de rehabilitación sostenible, sino también en una inversión altamente rentable para cualquier inversor.

6.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Tras cuantificar la inversión inicial requerida para implementar las distintas mejoras energéticas del Palacio, se ha evaluado su rentabilidad tanto desde un punto de vista de ahorro exclusivamente energético, como desde un punto de vista empresarial. El análisis muestra como, incluso sin ingresos comerciales, el proyecto es capaz de amortizarse en menos de cinco años gracias al importante ahorro en la factura energética, especialmente por la sustitución de la caldera de gasoil por un sistema de aerotermia.

Una vez incluido el modelo de negocio propuesto, repartido en tres paquetes comerciales, los indicadores financieros reafirman la rentabilidad de la inversión inicial: el periodo de retorno se estima en poco más de seis años, con un VAN superior a 640.000 € y una TIR que cuadriplica la tasa de descuento prevista. Estos resultados confirman que la rehabilitación energética del Palacio de los Condes de Gamazo no solo es viable y respetuosa con el patrimonio, sino también financieramente rentable y atractiva para potenciales inversores.

Por último, se muestra el Cuadro 6.22, a modo de resumen ejecutivo de los hayazgos más relevantes del capítulo.

Resumen Ejecutivo del Proyecto	
Inversión inicial total estimada	311.093,61 €
Ahorro energético anual	45.539,77 €/año
Ahorro anual de emisiones de CO₂	34,6 tCO ₂ /año
Payback energético (sin modelo de negocio)	6,8 años
Payback económico (con modelo de negocio)	6,1 años
Valor Actual Neto (VAN, 4%)	643.655,29 €
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	17 %

Cuadro 6.22: Resumen ejecutivo del capítulo (Fuente: Elaboración propia, 2025)

7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 CONCLUSIONES

El presente Trabajo Final de Grado ha tenido como objetivo principal desarrollar un proyecto de adecuación energético del Palacio de los Condes de Gamazo, con el fin de reducir su demanda energética y su impacto ambiental. El carácter histórico y patrimonial de este ha restringido en gran medida la gama intervenciones que se han podido efectuar, ya que en todo momento se ha debido respetar la arquitectura y estética original del edificio.

El enfoque de este trabajo comenzó por realizar un estudio exhaustivo del Palacio in situ, así como de su emplazamiento en términos climáticos. A partir de este diagnóstico, se ha consultado literatura relacionada con este proyecto, que se pudiese adaptar a las necesidades concretas del Palacio; desde tecnologías poco invasivas, hasta *case studies* de edificios históricos con características similares.

Con estos datos de partida, se ha realizado una evaluación energética del edificio para la que más adelante se han propuesto soluciones y medidas para combatir los sumideros energéticos más críticos del edificio; envolvente poco aislado, ventanas deterioradas, caldera ineficiente. Se ha propuesto, por un lado una sustitución de las lámparas ineficientes de *EnergyClass* F y G, por opciones de mejores rendimientos, con las que se ha reducido la demanda de potencia eléctrica en un 22%. En cuanto al aislamiento, se han instalado varias medidas con las que se ha ahorrado un 12% en demanda térmica para los meses de mayor demanda. Para suplir esta demanda se ha decidido sustituir la caldera de gasoil original por un sistema renovable de aerotermia en cascada con un total de potencia instalada de 480 kW. Con este se obtiene una eficiencia 5 veces superior a la original, obteniéndose una reducción de demanda energética de 155,5 MWh/año (48% del ahorro total).

Para solventar la elevada demanda eléctrica, y siguiendo con el objetivo de generación renovable, se ha dimensionado una instalación fotovoltaica de casi 100 kWp de potencia instalada, consistente en 160 paneles de 590 kWp cada uno, con los que se ha logrado cubrir un 46 % de la demanda eléctrica anual del edificio. Esta medida asegura una generación de energía renovable, adaptada al clima del emplazamiento, con la que se evita reducir la demanda anual de extracción eléctrica de la red en casi 150 MWh/año.

Las principales conclusiones técnicas, derivadas de las mejoras clave instaladas se reflejan resumidas y redondeadas en el Cuadro 7.1. Destaca especialmente la reducción de la demanda energética del edificio frente a la demanda original, derivada especialmente de la sustitución de la caldera de gasoil por la solución eficiente y renovable de aerotermia. Por otro lado, con la instalación fotovoltaica que requiere una inversión inicial proporcionalmente baja, se ha logrado cubrir un 46 % de la demanda eléctrica anual.

Indicador	Valor
Demanda energética inicial estimada	643 MWh/año
Ahorro total por mejoras	321 MWh/año
Demanda tras intervención	322 MWh/año
Reducción relativa de la demanda	50 %
Generación fotovoltaica anual prevista	148 MWh/año
Cobertura de la demanda con FV	46 %
Ahorro anual de emisiones de CO ₂	35 tCO ₂ /año

Cuadro 7.1: Síntesis de resultados técnicos alcanzados (Fuente: Elaboración propia, 2025)

Además de los objetivos energéticos mostrados en la anterior tabla, en este trabajo se ha proyectado también un modelo de negocio doble y balanceado acompañado de una evaluación económica detallada que muestra la viabilidad del mismo. Esta evaluación permite pasar de una hipotética rehabilitación energética puramente técnica, a un proyecto real, viable y altamente rentable. Como se resumió en la ficha ejecutiva del Cuadro 6.22, con una inversión de unos 311.000 € se ha obtenido un payback simple de menos de 7 años en términos de ahorro energético, y un retorno total de la inversión en algo más de 6 años gracias al beneficio de más de 45.000 € al año. Esto

viene acompañado de un VAN financiero de casi 650.000 € y una TIR de 17 %. Una TIR de 17 %, en otras palabras, implica que el proyecto generaría una rentabilidad media anual de 17 % sobre la inversión inicial, por lo que cada euro invertido hoy, resultaría teóricamente en unos 50 €¹ al cabo de 25 años, asumiendo una capitalización estable.

No es difícil concluir que, además de representar una herramienta de negocio rentable, con beneficios diversificados estables, esta rehabilitación, junto con la propuesta comercial del Palacio, supone una revalorización importante del patrimonio, equilibrando sostenibilidad energética, con rentabilidad y conservación. Este proyecto, por lo tanto, justifica la evidente necesidad y constatada viabilidad de rehabilitar y modernizar construcciones similares con legado histórico y arquitectónico, haciendo uso de innovaciones punteras para preservar el patrimonio de forma respetuoso y elegante.

7.2 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Los objetivos concretos cumplidos finalmente por este trabajo, relacionados con la adecuación energética y la conservación del patrimonio, se alinean perfectamente con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Organización de Naciones Unidas (ONU) en la Agenda 2030². Estos 17 objetivos, buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos.

En primer lugar, el Objetivo 7 (Energía asequible y no contaminante), encaja a medida con la instalación de un sistema de generación solar fotovoltaica. Este objetivo busca garantizar el acceso a una energía limpia y asequible, clave para el desarrollo de industrias y empresas. Con el autoconsumo fotovoltaico proyectado para el Palacio, se fomenta que edificios históricos de características similares, que acostumbran a depender de fuentes de energía anticuadas y contaminantes, tomen este caso de ejemplo y apuesten por medidas de generación energética renovable.

En segundo lugar, el objetivo de preservar el patrimonio histórico del Palacio, convirtiéndolo en un edificio sostenible, se alinea con el Objetivo 11 (Comunidades y ciudades sostenibles). Más concretamente, el Objetivo 11.4 (Redoblar los esfuerzos para

¹ $1 \text{ €} \cdot (1, 17)^{25} \simeq 50 \text{ €}$

² *Naciones Unidas, Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015.*

proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo), refleja exactamente la naturaleza de este trabajo: un esfuerzo técnico y estratégico para preservar un edificio histórico que podría ser demolido y olvidado.

El objetivo siguiente, el Objetivo 12 (Producción y consumo responsables), encaja con el empeño de este trabajo de, no solo generar energía limpia y preservar así el edificio, sino de proponer medidas pasivas con el fin de reducir la demanda térmica y así el consumo energético del Palacio. En especial, el subapartado 12.2 (Uso eficiente de los recursos naturales), se alinea con la reducción del 50 % de la demanda, derivada de las múltiples medidas e intervenciones con las que se obtiene un uso mucho más eficiente del recurso energético.

Finalmente, aunque de forma más general, el ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero; 35 toneladas de carbono evitadas, encaja con las metas medioambientales detalladas en el Objetivo 13 (Acción por el clima). Este ahorro de emisiones representa un pequeño pero importante grano de arena para la lucha global contra el cambio climático.

7.3 FUTUROS DESARROLLOS

Mirando a futuro, se podrían implementar ciertas vías de trabajo e ideas que mejoren el rigor técnico del proyecto. Por un lado, se podría explorar un modelado energético del Palacio con la herramienta de OpenStudio para EnergyPlus. Con esto, se obtendría una estimación del comportamiento térmico del edificio más precisa y detallada, contabilizando el efecto de la radiación solar y separando el edificio por zonas térmicas, lo que permitiría adaptar las soluciones de climatización y focalizarlas en las áreas más críticas del edificio. En segundo lugar, imitando las inspecciones técnicas de los estudios mencionados en el capítulo de Estado del Arte, basados en ensayos no destructivos como la termografía infrarroja o los ensayos blower door, se podría obtener una representación más realista de factores térmicos clave como los puentes térmicos o la estanqueidad del aire en la envolvente del Palacio.

En cuanto a la instalación fotovoltaica, se decidió limitar la potencia instalada a 100 kWp para encajar en la modalidad de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, que ofrecía ventajas en términos económicos y legales. No obstante,

esta decisión ha limitado la instalación fotovoltaica a cubrir tan solo un 40 % de la cubierta total de la Gran Sala de casi 1000 m². Sabiendo esto, se podrían explorar la opción de autoconsumo con excedentes no acogido a compensación, para instalaciones de más de 100 kWp, y barajar si la posibilidad de instalar el doble de paneles solares, cubriendo un 80 % de la superficie y alrededor del 90 % de la demanda eléctrica anual, justificaría las complicaciones técnicas y legales a las que habría que hacer frente.

El análisis económico realizado ya incorpora indicadores de alto nivel como el VAN o el TIR, y factores más abstractos como la depreciación o la amortización, que modifican el beneficio aparente. Sin embargo, hay ciertos factores económicos que se han asumido fijos, por simplificar la estimación, pero que en un estudio económico más riguroso, se podría contabilizar su evolución temporal. Esto es el caso especialmente para costes indirectos como las facturas de suministros, que incrementarían con la ocupación, o los salarios y seguridad social, que crecerían siguiendo el IPC anual. Estos refinamientos darían una visión aún más detallada de la rentabilidad real del proyecto, ajustándose a la situación económica de cada año.

En conclusión, este proyecto demuestra que la eficiencia energética y la conservación del patrimonio no solo pueden coexistir, sino reforzarse mutuamente, generando un modelo replicable y sostenible para otros edificios históricos de España.

A PLANOS ARQUITECTÓNICOS

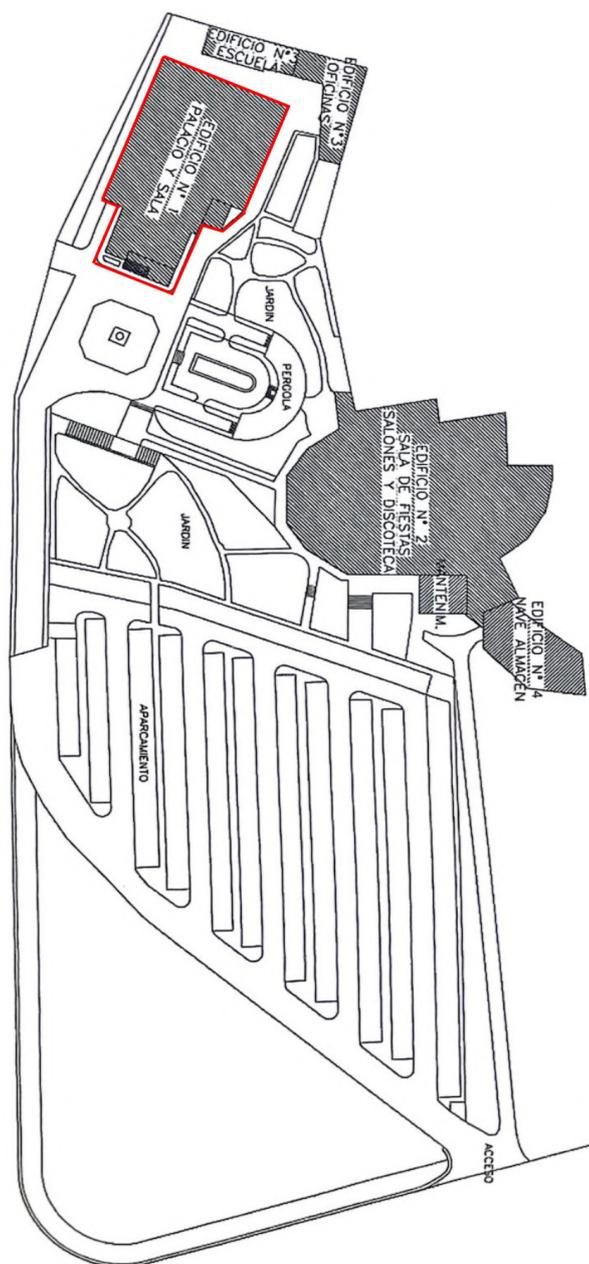


Figura A.1: Planos del Palacio (Fuente: Estudio arquitectónico, 2025)

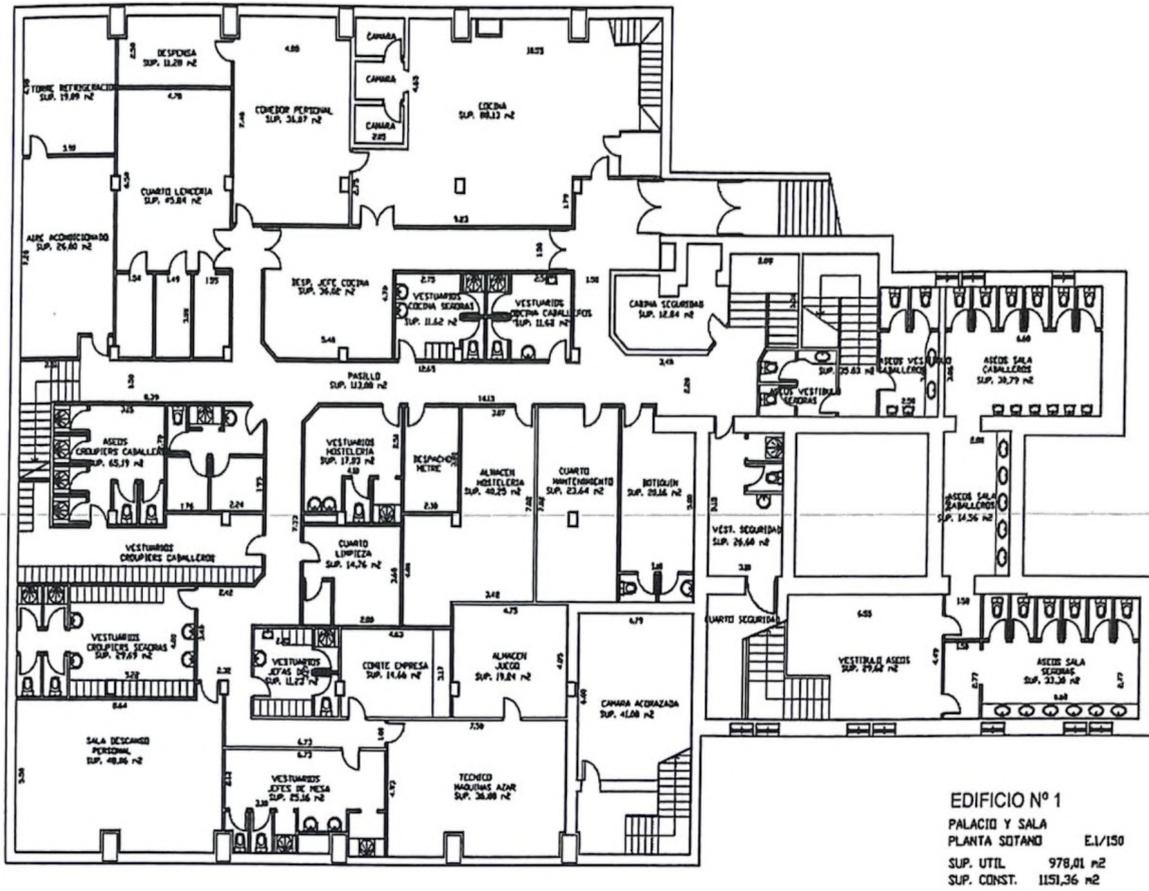


Figura A.2: Plano Sótano (Fuente: Arquitectura, 2025)

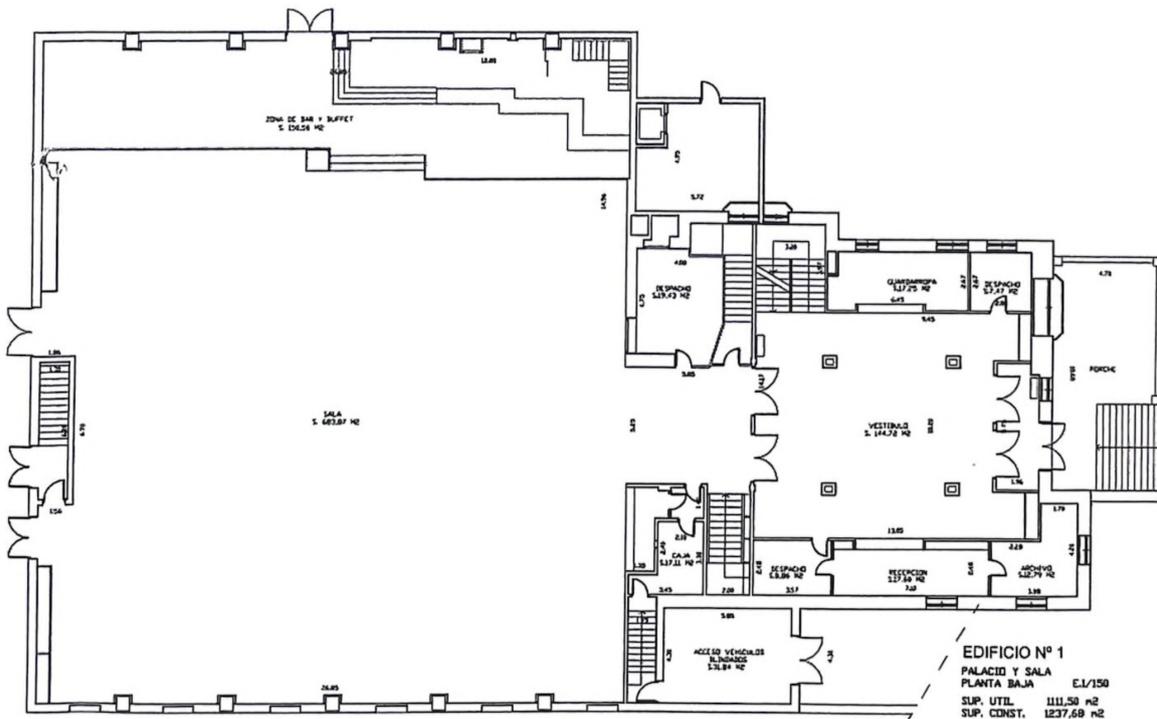


Figura A.3: Plano planta baja (Fuente: Arquitectura, 2025)

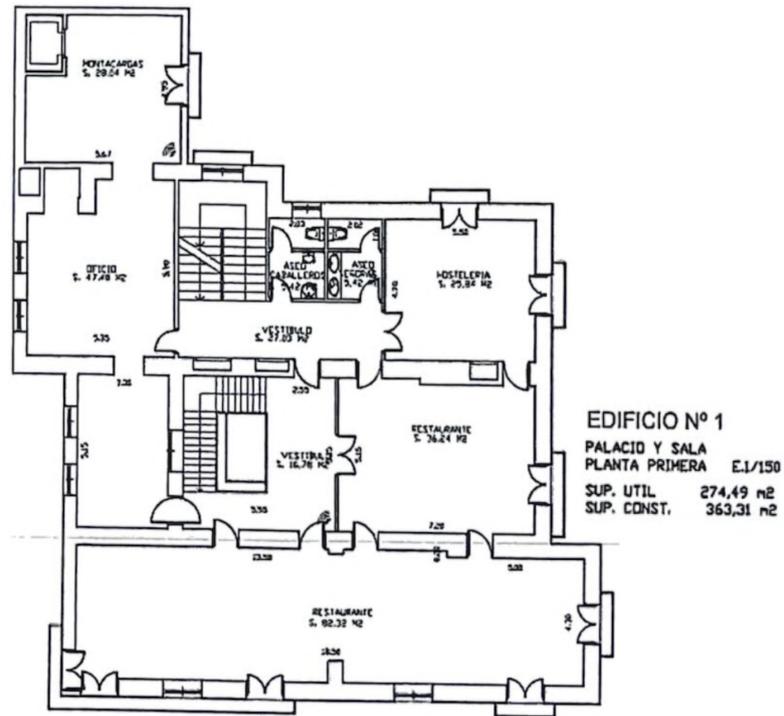


Figura A.4: Plano segunda planta (Fuente: Arquitectura, 2025)

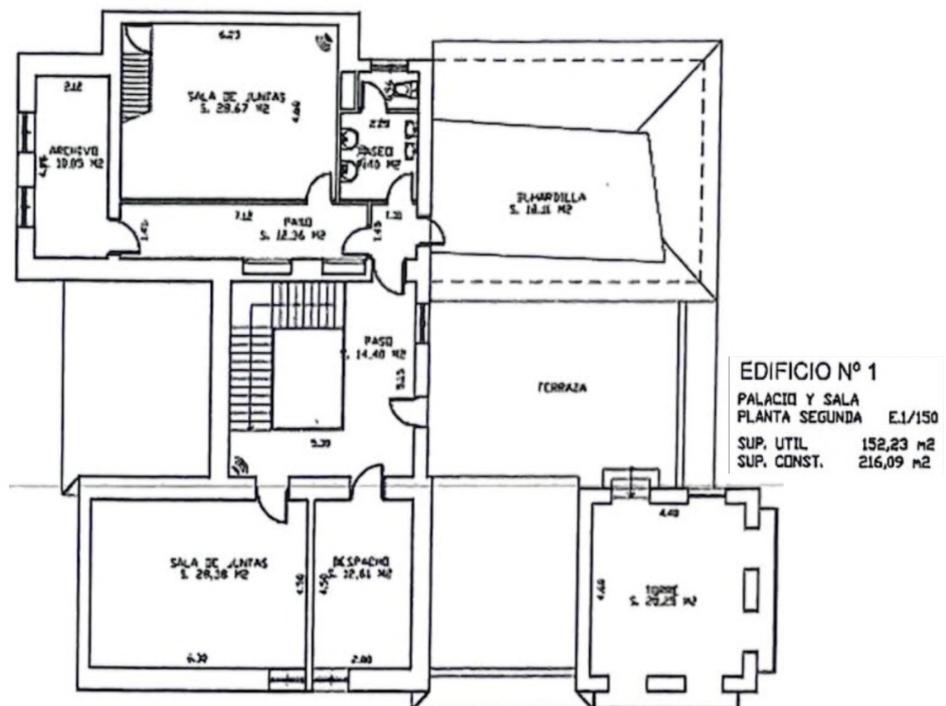


Figura A.5: Plano segunda planta (Fuente: Arquitectura, 2025)

B CÁLCULOS TRANSMISIÓN TÉRMICA

B.1 PLANTA BAJA

PLANTA BAJA						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Gran Sala + Restaurante						
Pared N (ext)	131.2	1.6	9.2	23.8	1882.98	4871.19
Pared E (ext)	113.5	1.6	9.2	23.8	1629.24	4214.77
Pared O (ext)	113.5	1.6	9.2	23.8	1629.24	4214.77
Puertas (ext)	16.0	1.9	9.2	23.8	279.68	723.52
Techo	838.4	1.7	9.2	23.8	12727.06	32924.36
Total					18148.20	46948.62
Vestibulo						
Pared S (ext)	38.1	1.6	9.2	23.8	546.52	1413.83
Pared E (int)	47.9	2.9	4.6	11.9	641.46	1659.42
Pared O (int)	47.9	2.9	4.6	11.9	641.46	1659.42
Puertas (ext)	5.0	1.9	9.2	23.8	87.40	226.10
Puertas (int)	11.2	4.1	2.3	5.9	104.84	268.95
Ventanas (ext)	1.0	5.8	9.2	23.8	53.54	138.52
Total					2075.23	5366.24
Acceso vehículos						
Pared N (int)	14.6	2.9	4.6	11.9	195.97	506.97
Pared S (ext)	14.6	1.6	4.6	11.9	105.06	271.78
Pared E (int)	24.2	2.9	4.6	11.9	324.48	839.41
Pared O (ext)	24.2	1.6	4.6	11.9	173.95	449.99
Puertas (ext)	4.0	1.9	4.6	11.9	34.96	90.44
Puertas (int)	1.6	4.1	4.6	11.9	29.96	77.49
Techo	31.8	1.7	4.6	11.9	241.67	625.18
Total					1106.03	2861.26

PLANTA BAJA						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Recepción						
Pared N (int)	9.3	2.9	4.6	11.9	124.62	322.40
Pared E (int)	26.5	2.9	4.6	11.9	354.19	916.28
Pared O (ext)	26.5	1.6	4.6	11.9	189.88	491.20
Puertas (int)	3.2	4.1	4.6	11.9	59.91	154.99
Ventanas (ext)	1.5	5.8	4.6	11.9	40.16	103.89
Techo	16.6	1.9	4.6	11.9	142.45	368.51
Total					911.21	2357.27
Guardarropa						
Pared S (int)	10.1	2.9	4.6	11.9	134.93	349.06
Pared E (ext)	22.4	1.6	4.6	11.9	161.03	416.58
Pared O (int)	22.4	2.9	4.6	11.9	300.38	777.07
Ventanas (ext)	2.5	5.8	4.6	11.9	66.93	173.15
Techo	17.3	1.9	4.6	11.9	148.38	383.86
Total					811.66	2099.72
Archivo						
Pared S (ext)	16.1	1.6	4.6	11.9	115.82	299.62
Pared E (int)	14.8	2.9	4.6	11.9	197.71	511.47
Pared O (ext)	14.8	1.6	4.6	11.9	105.99	274.19
Ventanas (ext)	3.0	5.8	4.6	11.9	80.32	207.77
Techo	12.8	1.9	4.6	11.9	110.02	284.62
Total					609.86	1577.67
Caja						
Pared N (int)	18.6	2.9	2.3	5.9	124.16	318.48
Pared S (int)	18.6	2.9	2.3	5.9	124.16	318.48
Pared E (int)	12.9	2.9	2.3	5.9	86.01	220.62
Pared O (int)	12.9	2.9	2.3	6.0	86.01	224.36
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	5.9	14.98	38.42
Techo	12.8	1.9	2.3	5.9	55.01	141.11
Total					490.31	1261.49
DespachoNO						
Pared N (int)	9.2	2.9	2.3	5.9	61.84	158.64
Pared S (int)	9.2	2.9	4.6	11.9	123.69	319.97
Pared O (ext)	12.9	1.6	4.6	11.9	92.21	238.55
Puertas (int)	3.2	4.1	2.3	6.0	29.96	78.14
Total					307.70	795.30

PLANTA BAJA						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
DespachoSE						
Pared N (int)	9.6	2.9	4.6	11.9	128.91	333.48
Pared S (ext)	9.6	1.6	9.2	23.8	138.21	357.54
Pared E (ext)	9.6	1.6	9.2	23.8	138.21	357.54
Ventanas (ext)	3.9	5.8	9.2	23.8	208.82	540.21
Total					614.15	1588.77
DespachoNE						
Pared E (int)	14.7	2.9	4.6	11.9	196.37	508.01
Techo	19.6	1.9	4.6	11.9	168.86	436.83
Total					365.23	944.83
Montacargas						
Pared N (int)	21.0	2.9	4.6	11.9	281.11	727.21
Pared S (ext)	21.0	1.6	4.6	11.9	150.70	389.84
Pared E (ext)	21.0	1.6	4.6	11.9	150.70	389.84
Pared O (int)	21.0	2.9	4.6	11.9	281.11	727.21
Puertas (ext)	1.6	1.9	4.6	11.9	13.98	36.18
Puertas (int)	1.6	4.1	4.6	11.9	29.96	77.49
Total					907.54	2347.77

Cuadro B.1: Cálculos transmisión térmica - Planta Baja (Fuente: Elaboración propia, 2025)

B.2 PLANTA 1

PLANTA 1						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Cenador de los Condes						
Superficie	S [m²]	K [W/m²K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Pared N (ext)	15.1	1.9	9.2	23.8	268.12	693.60
Pared S (ext)	15.1	2.9	9.2	23.8	404.26	1045.80
Pared E (int)	60.8	1.9	2.3	5.9	269.89	692.33
Pared O (ext)	60.8	1.9	9.2	23.8	1079.56	2792.79
Puertas (int)	6.4	4.1	2.3	5.9	59.91	153.68
Ventanas (ext)	12.0	5.8	9.2	23.8	642.53	1662.19
Total					2724.27	7040.39

PLANTA 1						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Salón Gamazo						
Pared N (int)	17.6	1.9	2.3	5.9	78.13	200.41
Pared S (ext)	17.6	2.9	9.2	23.8	471.19	1218.94
Ventanas (ext)	2.0	5.8	9.2	23.8	107.09	277.03
Techo	36.2	1.4	9.2	23.8	473.44	1224.77
Total					1129.84	2921.15
Despacho de Don Germán						
Pared S (ext)	16.0	1.9	9.2	23.8	284.10	734.94
Pared E (ext)	17.6	2.9	9.2	23.8	471.19	1218.94
Ventanas (ext)	2.0	5.8	9.2	23.8	107.09	277.03
Techo	23.4	4.6	4.6	11.9	494.30	1278.73
Total					1356.67	3509.64
Cocina adicional						
Pared N (ext)	42.3	1.9	4.6	11.9	375.89	972.42
Pared S (int)	42.3	2.9	2.3	6.0	283.38	739.26
Pared O (int)	18.3	2.9	4.6	11.9	244.56	632.67
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	6.0	14.98	39.07
Suelo	39.9	1.9	2.3	6.0	171.78	448.13
Total					1090.60	2831.55
Vestíbulo						
Pared N (int)	17.6	2.9	2.3	6.0	117.80	307.30
Pared S (int)	17.6	2.9	2.3	5.9	117.80	302.17
Pared O (int)	17.6	2.9	2.3	5.9	117.80	302.17
Puertas (int)	10.4	4.1	2.3	5.9	97.35	249.74
Suelo	30.3	1.9	2.3	5.9	130.11	333.75
Total					580.85	1495.13
Pasillo						
Pared N (int)	6.4	2.9	2.3	6.0	42.84	111.74
Pared S (int)	6.4	2.9	2.3	5.9	42.84	109.88
Pared O (int)	24.3	2.9	2.3	5.9	162.37	416.52
Total					248.04	638.15
Aseos Caballeros						
Pared E (ext)	6.4	1.9	9.2	23.8	113.64	293.98
Pared O (int)	6.4	2.9	2.3	5.9	42.84	109.88
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	5.9	14.98	38.42
Ventanas (ext)	1.0	5.8	9.2	23.8	53.54	138.52
Suelo	6.0	1.9	4.6	11.9	51.61	133.52
Total					276.61	714.31

PLANTA 1						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Aseos Señoras						
Pared E (ext)	6.4	1.9	9.2	23.8	113.64	293.98
Pared O (int)	6.4	2.9	2.3	5.9	42.84	109.88
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	5.9	14.98	38.42
Suelo	6.0	1.9	4.6	11.9	51.61	133.52
Total					223.06	575.80
Montacargas						
Pared N (ext)	18.3	1.9	4.6	11.9	162.20	419.61
Pared S (ext)	18.3	1.9	4.6	11.9	162.20	419.61
Pared E (ext)	18.3	1.9	4.6	11.9	162.20	419.61
Ventanas (ext)	2.0	5.8	4.6	11.9	53.54	138.52
Techo	36.0	1.4	4.6	11.9	235.15	608.33
Total					775.30	2005.67

B.3 PLANTA 2

PLANTA 2						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Salón de los Escudos						
Pared N (ext)	14.2	2.6	9.2	23.8	334.20	864.57
Pared S (ext)	14.2	2.6	9.2	23.8	334.20	864.57
Pared E (int)	28.2	2.9	4.6	11.9	377.89	977.58
Pared O (ext)	28.2	2.6	9.2	23.8	664.87	1720.00
Puertas (int)	3.2	4.1	4.6	11.9	59.91	154.99
Ventanas (ext)	5.0	5.8	9.2	23.8	267.72	692.58
Techo	41.0	1.4	9.2	23.8	535.62	1385.64
Total					2574.42	6659.91

PLANTA 2						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Sala de Juntas						
Pared N (int)	14.9	2.9	4.6	4.9	199.18	212.17
Pared S (int)	14.9	2.9	2.3	5.9	99.59	255.47
Pared E (ext)	19.3	2.6	9.2	23.8	455.02	1177.13
Pared O (int)	19.3	2.9	4.6	11.9	258.62	669.03
Puertas (int)	1.6	4.1	4.6	11.9	29.96	77.49
Ventanas (ext)	3.0	5.8	9.2	23.8	160.63	415.55
Techo	28.7	1.4	9.2	23.8	374.54	968.93
Suelo	28.7	1.9	4.6	11.9	246.62	637.99
Total					1824.17	4413.78
Buhardilla						
Pared N (int)	12.4	2.9	4.6	11.9	165.99	429.40
Pared S (ext)	12.4	2.6	4.6	11.9	146.02	377.75
Pared E (ext)	16.0	2.6	4.6	11.9	188.42	487.42
Pared O (ext)	16.0	2.6	4.6	11.9	188.42	487.42
Puertas (int)	1.2	4.1	2.3	6.0	11.23	29.30
Ventanas (ext)	0.4	5.8	4.6	11.9	10.71	27.70
Techo	18.1	1.4	4.6	11.9	118.29	306.02
Suelo	18.1	1.9	4.6	11.9	155.78	403.00
Total					984.86	2548.03
Archivo						
Pared N (ext)	15.6	2.6	4.6	11.9	183.71	475.24
Pared S (int)	15.6	2.9	4.6	11.9	208.82	540.21
Pared E (ext)	6.4	2.6	4.6	11.9	74.90	193.75
Pared O (ext)	6.4	2.9	4.6	11.9	85.13	220.24
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	6.0	14.98	39.07
Ventanas (ext)	2.0	5.8	4.6	11.9	53.54	138.52
Techo	10.1	1.4	4.6	11.9	65.91	170.50
Total					686.99	1777.53
Vestíbulo						
Pared N (ext)	17.6	2.6	4.6	11.9	207.26	536.17
Pared S (ext)	17.6	2.6	4.6	11.9	207.26	536.17
Pared E (int)	17.6	2.9	2.3	6.0	117.80	307.30
Pared O (int)	17.6	2.9	4.6	11.9	235.59	609.47
Puertas (ext)	1.6	1.9	4.6	11.9	13.98	36.18
Puertas (int)	3.2	4.1	4.6	11.9	59.91	154.99
Ventanas (ext)	1.0	5.8	4.6	11.9	26.77	69.26
Techo	30.3	1.4	4.6	11.9	197.59	511.16
Total					1066.17	2760.68

PLANTA 2						
Superficie	S [m²]	K [W/m²K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Pasillo						
Pared S (int)	4.8	2.9	2.3	6.0	32.13	83.81
Pared E (int)	21.6	2.9	4.6	11.9	289.14	747.99
Pared O (int)	21.6	2.9	2.3	6.0	144.57	377.14
Puertas (int)	4.4	4.1	2.3	6.0	41.19	107.45
Techo	12.4	1.4	6.9	17.9	121.10	314.17
Total					628.12	1630.54
Aseos						
Pared S (int)	10.8	2.9	4.6	11.9	144.57	373.99
Pared E (ext)	6.9	2.6	9.2	23.8	162.51	420.40
Pared O (int)	6.9	2.9	2.3	5.9	46.18	118.47
Puertas (int)	1.6	4.1	2.3	5.9	14.98	38.42
Ventanas (ext)	1.0	5.8	9.2	23.8	53.54	138.52
Techo	8.3	1.4	9.2	23.8	108.17	279.83
Total					529.95	1369.63

B.4 SÓTANO

SÓTANO						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Cocina						
Pared S (ext)	22.5	3.1	5.3	13.7	374.45	967.91
Pared E (ext)	31.5	3.1	5.3	13.7	524.22	1355.07
Techo	84.1	2.3	2.0	1.0	392.05	196.02
Suelo	84.1	2.3	7.3	11.7	1430.97	2293.47
Total					2721.68	4812.46
Comedor principal						
Pared E (ext)	12.6	3.1	5.3	13.7	209.69	542.03
Techo	36.1	2.3	2.0	1.0	168.09	84.04
Suelo	36.1	2.3	7.3	11.7	613.51	983.30
Total					991.29	1609.37
Despacho Jefe de Cocina						
Pared S (ext)	13.5	3.1	5.3	13.7	224.67	580.74
Pared E (ext)	13.5	3.1	5.3	13.7	224.67	580.74
Pared O (ext)	13.5	3.1	5.3	13.7	224.67	580.74
Techo	34.1	2.3	2.0	1.0	158.77	79.38
Suelo	34.1	2.3	7.3	11.7	579.50	928.78
Total					1412.26	2750.39
Despensa						
Pared E (ext)	12.0	3.1	5.3	13.7	199.70	516.22
Techo	13.3	2.3	2.0	1.0	61.88	30.94
Suelo	13.3	2.3	7.3	11.7	225.88	362.03
Total					487.47	909.18
Torre refrigeración						
Pared N (ext)	15.0	3.1	5.3	13.7	249.63	645.27
Pared E (ext)	9.9	3.1	5.3	13.7	164.76	425.88
Techo	19.1	2.3	2.0	1.0	88.96	44.48
Suelo	19.1	2.3	7.3	11.7	324.70	520.41
Total					828.05	1636.04
Aire acondicionado						
Pared N (ext)	21.0	3.1	5.3	13.7	349.48	903.38
Techo	26.8	2.3	2.0	1.0	124.89	62.44
Suelo	26.8	2.3	7.3	11.7	455.84	730.59
Total					930.21	1696.42

SÓTANO						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Cuarto						
Techo	65.8	2.3	2.0	1.0	306.81	153.41
Suelo	65.8	2.3	7.3	11.7	1119.87	1794.86
Total					1426.69	1948.27
Pasillo Principal						
Techo	113.1	2.3	2.0	1.0	526.95	263.48
Suelo	113.1	2.3	7.3	11.7	1923.38	3082.67
Total					2450.33	3346.15
Vestuarios Cocina Caballeros						
Techo	11.6	2.3	2.0	1.0	54.15	27.07
Suelo	11.6	2.3	7.3	11.7	197.64	316.77
Total					251.79	343.85
Vestuarios Cocina Señoras						
Techo	11.6	2.3	2.0	1.0	54.15	27.07
Suelo	11.6	2.3	7.3	11.7	197.64	316.77
Total					251.79	343.85
Cabina Seguridad						
Techo	12.8	2.3	2.0	1.0	59.83	29.92
Suelo	12.8	2.3	7.3	11.7	218.40	350.03
Total					278.23	379.95
Aseos Sala Caballeros						
Pared S (ext)	13.5	3.1	5.3	13.7	224.67	580.74
Pared E (ext)	32.1	3.1	5.3	13.7	534.21	1380.88
Pared O (ext)	32.1	1.9	5.3	13.7	328.35	848.76
Techo	53.2	2.3	2.0	1.0	247.82	123.91
Suelo	53.2	2.3	7.3	11.7	904.54	1449.74
Total					2239.58	4384.03
Aseos Sala Señoras						
Pared S (ext)	13.5	3.1	5.3	13.7	224.67	580.74
Pared E (ext)	32.1	3.1	5.3	13.7	534.21	1380.88
Pared O (ext)	32.1	3.1	5.3	13.7	534.21	1380.88
Techo	33.4	2.3	2.0	1.0	155.46	77.73
Suelo	33.4	2.3	7.3	11.7	567.42	909.43
Total					2015.96	4329.65

SÓTANO						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Vestíbulo Aseos						
Pared E (ext)	15.9	3.1	5.3	13.7	264.61	683.99
Pared O (ext)	15.9	3.1	5.3	13.7	264.61	683.99
Techo	29.6	2.3	2.0	1.0	138.03	69.01
Suelo	29.6	2.3	7.3	11.7	503.81	807.47
Total					1171.05	2244.46
Vestuarios Seguridad						
Techo	26.6	2.3	2.0	1.0	123.96	61.98
Suelo	26.6	2.3	7.3	11.7	452.44	725.14
Total					576.40	787.12
Cámara Acorazada						
Techo	41.1	2.3	2.0	1.0	191.43	95.72
Suelo	41.1	2.3	7.3	11.7	698.73	1119.88
Total					890.16	1215.60
Botiquín						
Suelo	23.2	2.3	7.3	11.7	393.93	631.36
Total					393.93	631.36
Cuarto Mantenimiento						
Techo	23.6	2.3	2.0	1.0	110.16	55.08
Suelo	23.6	2.3	7.3	11.7	402.09	644.45
Total					512.26	699.53
Almacén Juego						
Techo	17.2	2.3	2.0	1.0	80.34	40.17
Suelo	17.2	2.3	7.3	11.7	293.24	469.98
Total					373.57	510.15
Técnico Máquinas Azar						
Pared O (ext)	19.5	3.1	5.3	13.7	324.52	838.85
Techo	36.0	2.3	2.0	1.0	167.76	83.88
Suelo	36.0	2.3	7.3	11.7	612.32	981.40
Total					1104.60	1904.13
Almacén Hostelería						
Techo	46.3	2.3	2.0	1.0	215.53	107.76
Suelo	46.3	2.3	7.3	11.7	786.67	1260.82
Total					1002.19	1368.58

SÓTANO						
Superficie	S [m ²]	K [W/m ² K]	ΔT (V) [°C]	ΔT (I) [°C]	Q_T (V) [W]	Q_T (I) [W]
Vestuarios Hostelería						
Techo	17.8	2.3	2.0	1.0	83.09	41.54
Suelo	17.8	2.3	7.3	11.7	303.27	486.06
Total					386.36	527.61
Cuarto Limpieza						
Techo	14.3	2.3	2.0	1.0	66.45	33.23
Suelo	14.3	2.3	7.3	11.7	242.55	388.74
Total					309.00	421.97
Comité de Empresa						
Pared N (ext)	10.2	3.1	5.3	13.7	169.75	438.78
Pared O (ext)	11.7	3.1	5.3	13.7	194.71	503.31
Techo	14.5	2.3	2.0	1.0	67.38	33.69
Suelo	14.5	2.3	7.3	11.7	245.95	394.19
Total					677.79	1369.98
Sala Descanso Croupiers						
Pared N (ext)	15.6	3.1	5.3	13.7	259.62	671.08
Pared O (ext)	15.6	3.1	5.3	13.7	259.62	671.08
Techo	48.4	2.3	2.0	1.0	225.36	112.68
Suelo	48.4	2.3	7.3	11.7	822.56	1318.34
Total					1567.14	2773.18
Vestuarios Croupiers Señoras						
Pared N (ext)	18.3	3.1	5.3	13.7	304.55	787.23
Techo	29.7	2.3	2.0	1.0	138.36	69.18
Suelo	29.7	2.3	7.3	11.7	505.00	809.38
Total					947.90	1665.79
Vestuarios Croupiers Caballeros						
Pared N (ext)	18.6	3.1	5.3	13.7	309.54	800.13
Techo	65.2	2.3	2.0	1.0	303.74	151.87
Suelo	65.2	2.3	7.3	11.7	1108.65	1776.87
Total					1721.93	2728.88
Pasillo Secundario						
Techo	9.2	2.3	2.0	1.0	43.06	21.53
Suelo	9.2	2.3	7.3	11.7	157.16	251.89
Total					200.22	273.42

BIBLIOGRAFÍA

- Amstivslavski, Philippe, Zhaohui Yang y Maria D. White (ago. de 2017). “Thermal insulation material from mycelium and forestry byproducts”. WO2017132523A1. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2017132523A1/en> (visitado 11-03-2025).
- Arquitectura subterránea* (sep. de 2024). es. Page Version ID: 162412476. URL: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arquitectura_subterr%C3%A1nea&oldid=162412476 (visitado 03-04-2025).
- Ascione, Fabrizio, Filippo de Rossi y Giuseppe Peter Vanoli (ago. de 2011). “Energy retrofit of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios”. En: *Energy and Buildings* 43.8, págs. 1925-1936. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.03.040. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811001496> (visitado 11-03-2025).
- Banyeras, Lluís Jutglar i, Ferroli y Ángel Luis Miranda Barreras (abr. de 2011). *Manual de Calefacción*. es. Google-Books-ID: XAbSSfaTX54C. Marcombo. ISBN: 978-84-267-1738-2.
- Bao, Lei et al. (sep. de 2020). “High-performance flat single-shaft photovoltaic tracking support structure for double-sided double-glass photovoltaic panel”. CN211606462U. URL: <https://patents.google.com/patent/CN211606462U/en> (visitado 11-03-2025).
- Barta, Brett (feb. de 2012). “High powered universal led lamp”. en. US20120033407A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20120033407A1/en> (visitado 11-03-2025).
- Beck, Hylke E. et al. (oct. de 2023). “High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections”. en. En: *Scientific Data* 10.1.

- Publisher: Nature Publishing Group, pág. 724. ISSN: 2052-4463. DOI: 10.1038/s41597-023-02549-6. URL: <https://www.nature.com/articles/s41597-023-02549-6> (visitado 11-03-2025).
- Bodas en Valladolid, Precios en* (2025). URL: <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/boda/valladolid> (visitado 21-07-2025).
- Boecillo (2025). *Lugares de interés*. es. URL: <https://www.boecillo.es/magazine-home/lugares-de-interes2/> (visitado 21-03-2025).
- Carnicero Príncipe, David (2024). “El Pazo de Golmar. Restauración energética sostenible y preservación de patrimonio”. es-ES. En: Accepted: 2023-09-28T11:51:23Z. URL: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/83502> (visitado 01-04-2025).
- Cennini, Giovanni, Dmitri Anatolievich Chestakov y Mark Thomas Johnson (oct. de 2013). “Presence detector and a lighting system”. US20130271010A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20130271010A1/en?q=US20130271010> (visitado 11-03-2025).
- Climate-Data.org (2025). *Valladolid climate: Weather Valladolid & temperature by month*. URL: <https://en.climate-data.org/europe/spain/castile-and-leon/valladolid-581/> (visitado 22-03-2025).
- Comisión Europea (2025a). *EXCESS | Spain*. URL: <https://positive-energy-buildings.eu/demo-cases/spain> (visitado 11-03-2025).
- (2025b). *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission*. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.3 (visitado 25-03-2025).
- (2025c). *OVERVIEW | Energy Efficiency in Historic Buildings: A State of the Art | BUILD UP*. URL: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/overview-energy-efficiency-historic-buildings-state-art> (visitado 14-03-2025).
- (2025d). *Understanding the Energy Label - European Commission*. en. URL: https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/ecodesign-and-energy-label/understanding-energy-label_en (visitado 11-03-2025).

- Comunidad de Castilla y León, Ley 12 de 11 de julio de (ago. de 2002). *Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León*. URL: <https://www.boe.es/eli/es-cl/1/2002/07/11/12> (visitado 15-04-2025).
- Cuitiño, G. et al. (mar. de 2015). “Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha”. En: *Informes de la Construcción* 67.537, e063. ISSN: 1988-3234, 0020-0883. DOI: 10.3989/ic.12.082. URL: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4025> (visitado 04-03-2025).
- Dekoninck, Alexandra et al. (ene. de 2014). “Materiaux d’isolation thermique hautes performances”. fr. FR2977888B1. URL: <https://patents.google.com/patent/FR2977888B1/en?q=FR2977888B1+> (visitado 11-03-2025).
- EnerPop Energías Renovables* (2025). es. Section: Aerotermia. URL: <https://enerpop.com/comparativa-sistemas-calefaccion/> (visitado 09-07-2025).
- Espacios de coworking en Valladolid* (2025). *Espacios de coworking en Valladolid: Oficinas en Valladolid en 2025*. es. URL: <https://workin.space/es/coworking/espana/castilla-y-leon/valladolid> (visitado 21-07-2025).
- Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A.* (2025). es. URL: <https://generadordeprecios.info/> (visitado 15-07-2025).
- “Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto” (2010). es. En.
- Hoffman, Wayne L. (jun. de 2006). “Low-emissivity coating having low solar reflectance”. en. US7063893B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US7063893B2/en?q=US7063893B2> (visitado 11-03-2025).
- Iberdrola (2025). *Precio de la luz hoy por horas - F(day) de F(MONTH) F(year)*. es-ES. URL: <https://www.iberdrola.es/luz/precio-luz-hoy>.
- Idealista — Oficinas de alquiler en Valladolid* (2025). URL: <https://www.idealista.com/> (visitado 21-07-2025).
- Jefatura del Estado, Ley 16 de 25 de junio de (jun. de 1985). *Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/1/1985/06/25/16> (visitado 15-04-2025).
- Jefatura del Estado, Ley 24 de 26 de diciembre de (dic. de 2013). *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/1/2013/12/26/24> (visitado 15-04-2025).

- Junta de Castilla y León, Artículo 157.3 de 19 de septiembre de (2014). *Normativa*. es. text. Archive Location: Castilla y León Publisher: Junta de Castilla y León. URL: <https://vivienda.jcyl.es/web/es/urbanismo-ordenacion-territorio/normativa.html> (visitado 01-04-2025).
- Kruzel, Robert y Paweł Helbrych (jun. de 2019). “A technical and economic analysis of the thermal modernization of historic buildings using an innovative thermal insulating paint”. en-GB. En: *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences* 2019.vol.28(2). Number: vol.28(2) Publisher: Wydawnictwo SGGW, págs. 212-223. ISSN: 1732-9353. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.2.20. URL: <http://iks.pn.sggw.pl/PN84/A5/zeszyt84art5en.html> (visitado 11-03-2025).
- Leroy Merlin* (2025). URL: <https://www.leroymerlin.es/> (visitado 15-04-2025).
- Metar-Taf.com (2025). *Weather in Valladolid 2021-2025*. en-US. URL: <https://metar- taf.com/temperatures/provincia-de-valladolid?unit=celcius> (visitado 25-03-2025).
- Ministerio de Ciencia y Tecnología, Real Decreto 842 de 2 de agosto de (sep. de 2002). *Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842> (visitado 15-04-2025).
- Ministerio de Fomento, Real Decreto 7 de 30 de octubre de (oct. de 2015). *Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2015/10/30/7> (visitado 15-04-2025).
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Real Decreto 552 de 27 de septiembre de (oct. de 2019). *Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/09/27/552> (visitado 15-04-2025).
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Guía Técnica de ACS (2010). *Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central. | Idae*. URL: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-agua-caliente-sanitaria-central>.
- Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1027 de 20 de julio de (ago. de 2007). *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de*

- Instalaciones Térmicas en los Edificios*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/20/1027> (visitado 01-04-2025).
- Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 390 de 1 de junio de (jun. de 2021). *Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/01/390> (visitado 15-04-2025).
- Ministerio de Sanidad y Consumo, Real Decreto 865 de 4 de julio de (jul. de 2003). *Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/07/04/865> (visitado 15-04-2025).
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HE) Ahorro de Energía (2025). *CTE HE Ahorro de energía*. URL: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> (visitado 10-04-2025).
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, CTE (HS) Salubridad (2025). *CTE HS Salubridad*. URL: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html> (visitado 10-04-2025).
- Ministerio para la Transición Ecológica, Real Decreto 244 de 5 de abril de (abr. de 2019). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. URL: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244> (visitado 15-04-2025).
- Moslehi, Mehrdad M. et al. (dic. de 2016). “Monolithically isled back contact back junction solar cells”. en. US9515217B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US9515217B2/en> (visitado 11-03-2025).
- Naciones Unidas, *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (2015). es. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- Nowtricity.com (2024). *CO2 emissions per kWh in Spain - Nowtricity*. URL: <https://www.nowtricity.com/country/spain/>.
- Palacio del Postigo* (2025). es-ES. URL: <https://www.bodas.net/fincas/palacio-del-postigo--e45864> (visitado 21-07-2025).
- Parlamento Europeo y Consejo, Directiva (UE) 2023/1791 de 13 de septiembre de (2023). *BOE.es - DOUE-L-2023-81299 Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de septiembre de 2023 relativa a la eficiencia ener-*

gética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955 (versión refundida).

URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2023-81299>.

Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 1935/2004 de 27 de octubre de (2004). *BOE.es - DOUE-L-2004-82656 Reglamento (CE) nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE*. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2004-82656>.

Passivhaus Institut (2025). URL: <https://passivehouse.com/> (visitado 11-03-2025).

Pisello, Anna Laura et al. (ene. de 2016). “On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: Thermal-energy, economic and environmental analysis of a case study”. En: *Applied Energy* 162, págs. 1313-1322. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.05.061. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915006923> (visitado 11-03-2025).

Roberti, Francesca et al. (mar. de 2017). “Energy retrofit and conservation of a historic building using multi-objective optimization and an analytic hierarchy process”. En: *Energy and Buildings* 138, págs. 1-10. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.028. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816318382> (visitado 11-03-2025).

Salvadori, Giacomo et al. (dic. de 2016). “The Energy Audit Activity Focused on the Lighting Systems in Historical Buildings”. en. En: *Energies* 9.12. Number: 12 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, pág. 998. ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en9120998. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/12/998> (visitado 11-03-2025).

Shin, Hyungchan (abr. de 2018). “Aqueous, heat reflective, heat insulation and thermal insulation paint with excellent UV blocking capacity and method for production thereof”. en. KR101847604B1. URL: <https://patents.google.com/patent/KR101847604B1/en> (visitado 11-03-2025).

Speake, Andrew et al. (nov. de 2023). “Component-level analysis of heating and cooling loads in the U.S. residential building stock”. En: *Energy and Buildings* 299, pág. 113559. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113559. URL:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823007892>
(visitado 06-04-2025).
- Troi, Alexandra y Zeno Bastian (nov. de 2014). *Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook*.
- Wang, Evelyn N. et al. (nov. de 2021). “Energy efficient soundproofing window retrofits”. en. US11170750B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US11170750B2/en?q=US11170750> (visitado 11-03-2025).
- Weather-And-Climate.com (2025). *Get Updates on Sunshine Hours in Valladolid / Monthly Average*. en. URL: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-sunshine,valladolid-castile-and-leon-es,Spain> (visitado 25-03-2025).
- Weatherbase (2025). *Valladolid, Spain Travel Weather Averages (Weatherbase)*. URL: <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php?s=4180> (visitado 25-03-2025).
- Yousif, Charles, Gorka Ona Quecedo y Julia Bilbao (2013). “Comparison of solar radiation in Marsaxlokk, Malta and Valladolid, Spain”. en. En: Accepted: 2018-01-08T10:50:01Z Publisher: Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.renene.2012.01.031. URL: <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/25532> (visitado 25-03-2025).
- Yuk, H. et al. (2024). “Balancing preservation and utilization: window retrofit strategy for energy efficiency in historic modern building”. En: *Building and Environment*, pág. 111648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111648>.
- Zhao, Fanghua (dic. de 2014). “Reflective thermal-insulation paint”. en. CN104212218A. URL: <https://patents.google.com/patent/CN104212218A/en> (visitado 11-03-2025).