



UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Ciudad Real

Eficiencia Energética en la Edificación

ANÁLISIS ENERGÉTICO Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
DE UN EDIFICIO DE 34 VIVIENDAS

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
Nº 14-2-225053

Autor
José Ángel Velasco Rodríguez

Directores
Miguel Angel Caminero Torija
Gustavo A. Gómez Valadés

Septiembre de 2014

Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado, se ha llevado a cabo la simulación energética de un edificio de viviendas en bloque, para estudiar el comportamiento energético del mismo y determinar su grado de eficiencia energética, obteniendo la calificación de eficiencia energética de acuerdo con la normativa vigente.

Se crea un modelo BIM (*“Building Information Modelling”*) del edificio, a través del módulo *Cype-CAD MEP*, perteneciente a la “suite” informática de ingeniería y arquitectura *Cype*. Desde este programa informático, se realiza un estudio térmico, obteniendo las cargas térmicas del edificio, los parámetros característicos de la envolvente térmica, y los puentes térmicos.

Se obtiene la calificación energética, además de los consumos de Energía Final, Energía Primaria, Emisiones de CO_2 , demanda térmicas de calefacción y refrigeración, mediante la herramienta informática, *Calener VYP*

Se utiliza el motor de cálculo *Energy plus* desarrollado por DOE (*Department of Energy, EEUU*), a través de la interfaz de *CypeCAD MEP*, para realizar una simulación dinámica del edificio, obtenido la demanda térmica mensual por vivienda.

El edificio objeto de estudio, se encuentra ubicado en el municipio de Villafranca de los Caballeros (Toledo). Se trata de un edificio de 34 viviendas unifamiliares, con garaje, trasteros y 2 locales comerciales. El edificio cuenta con un cubierta parcialmente plana transitable y dos orientaciones de fachada, SO y SE. El edificio es de nueva construcción pero se encuentra sin finalizar, luego es considerado como edificio existente a efectos normativos. El proyecto de ejecución data del año 2006, anterior a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, por lo que los niveles de aislamiento térmico son muy bajos.

Como instalación de calefacción, cuenta en proyecto con el denominado “calor azul”, que consiste en radiadores, eléctricos construidos en acero ó aluminio, que utilizan como fluido caloportador aceite, para la emisión de calor por efecto “joule” a través de una resistencia eléctrica. Como instalación de producción de agua caliente sanitaria (ACS), cuenta en proyecto con un equipo termoacumulador eléctrico individual para cada vivienda.

Estos sistemas, utilizan como fuente energética la electricidad, la cual, tiene asociados unos coeficientes de paso, de energía final a energía primaria, así como un factor de emisiones de CO_2 , muy desfavorable, en comparación con otras fuentes energéticas, por lo que a la hora de obtener la calificación energética, esta resulta ser muy baja.

Tras el análisis del edificio, se proponen una serie de mejoras encaminadas a reducir la demanda energética del edificio, el consumo de energía, las emisiones de CO_2 y, en definitiva, aumentar el nivel de eficiencia energética del mismo, convirtiéndose esta parte del trabajo en una “Rehabilitación energética”.

Estas mejoras consisten en:

1. Instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria (ACS).
2. Mejorar las prestaciones de la envolvente térmica, mediante soluciones de trasdosado autoportante, suelo flotante y vidrio de doble cámara de aire y baja emisividad.
3. Instalación de aerotermia como instalación de calefacción y refrigeración, con distribución mediante suelo radiante.
4. Instalación de caldera de combustión de pellets para producción de calefacción y ACS, con distribución mediante suelo radiante

5. Instalación de caldera de gasóleo de baja temperatura para producción de calefacción y ACS, con distribución mediante suelo radiante

Estas mejoras son diseñadas mediante la herramienta *CypeCAD MEP* e implementadas en el edificio para ser evaluadas energéticamente. De cada mejora se obtiene el presupuesto de ejecución material, a través de la herramienta *Arquímides*, empleando el generador de precios de *Cype*. A su vez cada mejora es objeto de un análisis económico, evaluando su viabilidad como inversión.

Adicionalmente, se proponen un serie de mejoras alternativas, a las anteriores, para aumentar la eficiencia energética del edificio, si bien, estas mejoras no han sido diseñadas ni desarrolladas en el edificio.

Estas mejoras son:

- Instalación de ventilación mecánica con recuperación de calor.
- Iluminación mediante bombillas tipo LEDs y luz natural mediante instalación de reflectores en los patios.
- Instalación de variadores de frecuencia en ascensores y grupos de presión de agua.
- Instalación de paneles fotovoltaicos en cubierta mediante superposición para producción de energía eléctrica
- Instalación de enfriadora de agua por absorción para producción de refrigeración. (combinación con caldera de biomasa)
- Instalación de microcogeneración para producción simultánea de calor y electricidad a partir de gas natural

La conclusión de este Trabajo Fin de Grado, es que el parque de viviendas español anterior a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) (2006), posee niveles de eficiencia energética muy bajos ó nulos.

La eficiencia energética supone una gran oportunidad para el sector de la edificación ,debido al desarrollo económico que trae asociado. Sin embargo, es necesario que la eficiencia energética se convierta en una prioridad para los gobiernos nacionales, en cuanto a la legislación se refiere, para que pueda incrementarse la competitividad de las empresas y la generación de empleo cualificado, garantizando un crecimiento sostenible.

La rehabilitación ó mejora de edificios de viviendas existentes, requiere en general de inversiones elevadas, con periodos de recuperación a medio-largo plazo, por lo que se hace necesaria la presencia de ayudas y subvenciones para fomentar la eficiencia energética y movilizar al sector.

Agradecimientos

La realización de este Trabajo Fin de Grado, no habría sido posible, sin la ayuda de un conjunto de personas, a los cuales quiero agradecer su apoyo y comprensión.

En primer lugar estarían mis padres y mi hermano, que desde el hogar siempre han impulsado mi carreras con su apoyo y preocupación.

En segundo lugar, estarían los fantásticos compañeros de trabajo que tuve durante el periodo de prácticas en empresa, periodo en el cual realicé el presente Trabajo Fin de Grado.

En tercer lugar, me gustaría hacer un reconocimiento a mis compañeros de trabajo durante la carrera en la universidad, con los cuales he pasado buenos y malos momentos, pero cuya compañía fue imprescindible para llegar hasta aquí.

Por último agradezco el apoyo de todos mis amigos, que aunque no los veo tanto como me gustaría, siempre están ahí dando su apoyo.

*José Ángel Velasco
Septiembre de 2014*

Índice general

I Memoria	13
1. Introducción al Trabajo Fin de Grado	15
2. Análisis energético	17
2.1. Introducción	17
2.2. Presentación del modelo BIM	17
2.3. Parámetros característicos de la envolvente	19
2.4. Cargas térmicas de climatización	20
2.5. Balance energético anual del edificio	21
2.6. Demanda térmica del edificio	22
2.7. Comportamiento energético	25
2.8. Calificación de eficiencia energética	28
3. Resultados energéticos propuestas de mejora	31
4. Propuestas de mejora de la eficiencia energética	69
4.1. Introducción	69
4.2. Instalación solar térmica	70
4.3. Mejora de la envolvente térmica	75
4.4. Instalación de Aerotermia	84
4.5. Instalación de Biomasa	89
4.6. Instalación de Gasóleo	94
4.7. Comparativa final entre las propuestas de mejora	99
II Anexos	105
1. Estudios de viabilidad económica	107

Índice de figuras

2.1. Modelo BIM del edificio objeto de estudio	18
2.2. Fotografía del edificio objeto de estudio	18
2.3. Carga térmica de calefacción en viviendas	20
2.4. Carga térmica de refrigeración en viviendas	21
2.5. Balance energético del edificio anual	22
2.6. Necesidades energéticas (kWh/mes)	22
2.7. Potencia útil instantánea anual (kW)	23
2.8. Demanda diaria superpuesta de calefacción (W/m^2)	23
2.9. Demanda diaria superpuesta de refrigeración (W/m^2)	24
2.10. Demanda de calefacción en Enero	24
2.11. Demanda de refrigeración en Agosto	25
2.13. Demanda térmica normalizada	26
2.12. resultados CALENER VYP	26
2.14. Consumos de Energía Final y Energía Primaria normalizados	27
2.15. Emisiones de CO_2 asociadas al consumo energético	27
2.16. Factores de conversión de Energía Final a Energía Primaria. Fuente: [?]	28
2.17. Coeficientes de paso de Energía Primaria a Emisiones de CO_2 . Fuente: [?]	28
2.18. Calificación de eficiencia energética del edificio objeto de estudio	29
3.1. Evolución de la producción y consumo de ACS a lo largo del año	32
3.2. Consumo energético normalizado con la instalación solar térmica	32
3.3. Consumo energético anual con la instalación solar térmica	33
3.4. Emisiones de CO_2 normalizadas con la instalación solar térmica	33
3.5. Emisiones de CO_2 anuales en toneladas métricas con la instalación solar térmica	34
3.6. Consumo de Energía Final normalizado con instalación solar térmica	34
3.7. Consumo de Energía Primaria normalizado total con instalación solar térmica	35
3.8. Consumo de Energía Final anual con instalación solar térmica	35
3.9. Consumo de Energía Primaria anual con instalación solar térmica	36
3.10. Emisiones de CO_2 normalizadas con instalación solar térmica	36
3.11. Emisiones de CO_2 anuales en toneladas métricas con instalación solar térmica	37
3.12. Carga Térmica de Calefacción tras mejora de envolvente	41
3.13. Carga Térmica de Refrigeración tras mejora de envolvente	42
3.14. Reducción de la carga térmica en viviendas tras mejora de la envolvente	43
3.15. Reducción de la superficie útil en viviendas	45
3.16. Balance energético anual. Edificio caso base	46
3.17. Balance energético anual. Edificio con mejora de envolvente	46
3.18. Demanda de calefacción total tras la mejora de la envolvente	47
3.19. Reducción de la demanda de calefacción tras mejora envolvente	48
3.20. Demanda de refrigeración total tras la mejora de la envolvente	48
3.21. Reducción de la demanda de refrigeración tras mejora envolvente	49
3.22. Efecto sobre la demanda térmica de la mejora de la envolvente	50
3.23. Consumo Energía Final normalizado tras mejora envolvente	50
3.24. Consumo Energía Primaria normalizado tras mejora envolvente	51

3.25. Emisiones de CO_2 tras mejora envolvente	51
3.26. Demanda térmica normalizada por la sup. útil. Instalación aerotérmia	52
3.27. Demanda térmica total anual. Instalación aerotérmia	53
3.28. Consumo de Energía Final normalizado. Instalación aerotermia	53
3.29. Consumo de Energía Final anual total. Instalación aerotermia	54
3.30. Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación aerotermia	54
3.31. Consumo de Energía Primaria anual total. Instalación aerotermia	55
3.32. Emisiones de CO_2 normalizadas por la sup. útil. Instalacion aerotermia	55
3.33. Emisiones de CO_2 anuales totales. Instalación aerotermia	56
3.34. Demanda térmica normalizada. Instalación de biomasa	57
3.35. Demanda térmica anual. Instalación de biomasa	58
3.36. Consumo de Energía Final normalizado. Instalación de biomasa	58
3.37. Consumo de Energía Final anual. Instalación de biomasa	59
3.38. Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación de biomasa	59
3.39. Consumo de Energía Primaria anual. Instalación de biomasa	60
3.40. Emisiones de CO_2 normalizadas. Instalación de biomasa	61
3.41. Emisiones de CO_2 anuales. Instalación de biomasa	61
3.42. Demanda térmica normalizada. Instalación de gasóleo	63
3.43. Demanda térmica anual. Instalación de gasóleo	63
3.44. Consumo de Energía Final normalizado. Instalación de gasóleo	64
3.45. Consumo de Energía Final anual. Instalación de gasóleo	64
3.46. Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación de gasóleo	65
3.47. Consumo de Energía Primaria anual. Instalación de gasóleo	65
3.48. Emisiones de CO_2 normalizadas. Instalación de gasóleo	66
3.49. Emisiones de CO_2 anuales. Instalación de gasóleo	67
 4.1. Límites de calificación energética para cada indicador en Toledo	71
4.2. Etiqueta de Eficiencia Energética con instalación solar ACS	72
4.3. Evolución de los costes en electricidad para ACS del edificio del caso base y el edificio con la instalación de captación solar	73
4.4. Cerramientos de fachada antes y después de la actuación	76
4.5. Separación de viviendas con espacios no acondicionados antes y después de la actuación	77
4.6. Solado antes y después de la actuación	78
4.7. Acristalamiento huecos antes y después de la actuación	79
4.8. Etiqueta de Eficiencia Energética con mejora de la envolvente térmica	80
4.9. Evolución de gastos anuales en electricidad para calefacción del edificio del caso base y el edificio con la envolvente mejorada	82
4.10. Etiqueta de eficiencia energética. Instalación aerotermia	86
4.11. Comparativa de gastos en electricidad para calefacción. “Calor azul” frente a aerotermia	87
4.12. Etiqueta de calificación de eficiencia energética. Instalación de biomasa	91
4.13. Evolución de las facturas energéticas del edificio base y el edificio con la instalación de biomasa	92
4.14. Ejemplo de instalación de calefacción y ACS a gasóleo BUDERUS. Fuente:[?]	95
4.15. Etiqueta de calificación de eficiencia energética	96
4.16. Evolución de las facturas energéticas del edificio base y el edificio con la instalación de gasóleo	97
4.17. Comparativa final de demanda térmica normalizada	99
4.18. Comparativa final de demanda térmica anual total	99
4.19. Comparativa del consumo de Energía Final normalizado	100
4.20. Comparativa del consumo de Energía Final anual total	100
4.21. Comparativa final del consumo de Energía Primaria normalizado	101
4.22. Comparativa final del consumo de Energía Primaria anual total	101
4.23. Comparativa final de las Emisiones de CO_2 normalizadas	102
4.24. Comparativa final de las Emisiones de CO_2 anual total	102
4.25. Comparativa de gasto energético anual	103

4.26. Comparativa mantenimiento anual	103
4.27. Comparativa de costes de adquisición de cada sistema completo	104
4.28. Comparativa de ahorro económico conseguido con cada mejora propuesta	104
1.1. Evolución de la rentabilidad de la instalación solar térmica ACS	113
1.2. Evolución de la rentabilidad de la instalación solar térmica ACS. Sin financiación	114
1.3. Análisis sensibilidad. Instalación solar térmica	115
1.4. Evolución del VAN en el análisis de sensibilidad. Instalación solar térmica	115
1.5. Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario “ideal”	118
1.6. Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario con el préstamo	119
1.7. Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario con la ayuda	119
1.8. Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario sin ayudas	120
1.9. Análisis sensibilidad. Mejora de la envolvente térmica	121
1.10. Evolución del VAN en el análisis de sensibilidad. Mejora de la envolvente térmica	121
1.11. Evolución rentabilidad de la inverisón en aerotermia. Constructor/promotor. Con financiación	125
1.12. Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Propietario individual. Con financiación	125
1.13. Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Constructor/promotor. Sin Financiación	126
1.14. Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Propietario individual. Sin Financiación	127
1.15. Análisis de sensibilidad de la inversión en aerotermia al incremento anual del precio de electricidad	128
1.16. Análisis de sensibilidad de la inversión en aerotermia al incremento anual del precio de electricidad	128
1.17. Evolución del VAN en función del incremento anual del precio de electricidad	129
1.18. Evolución del VAN en función del incremento anual del precio de electricidad	129
1.19. Evolución de la rentabilidad de la inversión en la instalación de biomasa. Con financiación	133
1.20. Evolución de la rentabilidad de la inversión en la instalación de biomasa. Sin financiación	134
1.21. Análisis de sensibilidad al incremento anual del precio del pellet. Flujos de Caja	135
1.22. Análisis de sensibilidad al incremento del precio de electricidad. Flujos de Caja	135
1.23. Análisis de sensibilidad al incremento anual del precio del pellet. Evolución del VAN	136
1.24. Análisis de sensibilidad al incremento del precio de electricidad. Evolución del VAN	136
1.25. Evolución rentabilidad de la inversión en la instalación de gasóleo	140
1.26. Evolución rentabilidad de la inversión en la instalación de gasóleo. Sin financiación	141
1.27. Análisis de sensibilidad de la inversión al incremento del precio de la electricidad	141
1.28. Análisis de sensibilidad de la inversión al incremento del precio del gasóleo	142
1.29. Evolución del VAN. Análisis de sensibilidad precio electricidad	142
1.30. Evolución del VAN. Análisis de sensibilidad precio gasóleo	143

Índice de tablas

2.1. Resumen de parámetros característicos de la envolvente térmica	19
3.1. Comparativa calificación energética con instalación solar térmica	37
3.2. Clasificación de los indicadores energéticos con instalación solar térmica	38
3.3. Listado cargas térmicas calefacción tras mejora envolvente térmica	39
3.4. Listado cargas térmicas refrigeración tras mejora envolvente térmica	40
3.5. Listado de superficie útil en viviendas tras mejora de la envolvente térmica	44
3.6. Efecto sobre el consumo y emisiones de CO_2 de la mejora de la envolvente térmica	49
3.7. Clasificación de los indicadores energéticos con mejora de la envolvente térmica	51
3.8. Comparativa calificación energética con majara de la envolvente térmica	52
3.9. Comparativa calificación energética con instalación de aerotermia	56
3.10. Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de aerotermia	56
3.11. Comparativa calificación energética con instalación de biomasa	62
3.12. Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de biomasa	62
3.13. Comparativa calificación energética con instalación de gasóleo	67
3.14. Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de gasóleo	68
4.1. Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación solar térmica para ACS	72
4.2. Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación solar térmica	73
4.3. Coste económico antes y después de implementar la instalación solar térmica para ACS	73
4.4. Propiedades térmicas de las huecos	79
4.5. Costes de ejecución y mantenimiento de la mejora de la envolvente térmica	81
4.6. Posibilidades de financiación de la mejora de la envolvente térmica	81
4.7. Ahorro económico tras implementar la mejora de la envolvente térmica	81
4.8. Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de aerotermia	86
4.9. Financiación de la instalación de aerotermia. Puntos de vista	87
4.10. Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de aerotermia	87
4.11. Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de biomasa	91
4.12. Financiación PAREER para la instalación de biomasa	92
4.13. Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de biomasa	92
4.14. Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de gasóleo	96
4.15. Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación de gasóleo	97
4.16. Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de gasoleo	97
1.1. Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación solar térmica para ACS .	112
1.2. Resultados evaluación económica instalación solar ACS	113
1.3. Resultados evaluación económica instalación solar ACS. Sin financiación	113
1.4. Resumen del presupuesto de ejecución material de la mejora de la envolvente térmica . .	117
1.5. Resultados de la evaluación económica de la mejora de la envolvente. Escenario “ideal” .	117
1.6. Resultados económicos para cada posibilidad de financiación	118
1.7. Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de aerotermia	124
1.8. Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Constructor/promotor.	
Con financiación	124

1.9. Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Propietario individual.	
Con financiación	125
1.10. Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Constructor/promotor.	
Sin financiación	126
1.11. Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Propietario individual.	
Sin financiación	126
1.12. Financiación PAREER para la instalación de biomasa	130
1.13. Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de biomasa	132
1.14. Evaluación económica de la inversión en la instalación de biomasa. Con financiación . . .	133
1.15. Evaluación económica de la inversión en la instalación de biomasa. Sin financiación . . .	134
1.16. Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación de gasóleo	137
1.17. Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de gasóleo	139
1.18. Resultados de la evaluación económica. Instalación gasóleo.	140
1.19. Resultados de la evaluación económica sin financiación. Instalación gasóleo. Sin financiación	140

Parte I

Memoria

Capítulo 1

Introducción al Trabajo Fin de Grado

Presentación

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) consiste en el estudio energético mediante la simulación dinámica de un edificio de viviendas en bloque situado en Villafranca de los Caballeros (Toledo).

El Trabajo Fin de Grado está realizado en régimen de prácticas en empresa, en el estudio de arquitectura ARQUINUR ARQUITECTURA MANCHEGA [?], en Villafranca de los Caballeros (Toledo).

El objeto de estudio es un edificio de 34 viviendas unifamiliares, con garaje, trasteros y 2 locales comerciales, el cual se encuentra sin finalizar. Se trata de una edificación proyectada con anterioridad a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE), 2006, de modo que las propiedades de la envolvente térmica ejecutada (cerramientos, particiones, huecos y forjados) están lejos de igualar los requisitos mínimos exigidos en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del CTE.

Esta es una situación problemática, y que no solo afecta a éste caso en particular, en España existen muchos edificios que, en proceso de construcción, tuvieron que ser paralizados, debido en parte al auge de la crisis económica.

Con motivo de la posible reanudación de la construcción, se hace necesario, llevar a cabo un análisis energético del edificio proyectado y ejecutado, a través de la simulación dinámica, para determinar en qué condiciones de habitabilidad operará el edificio una vez esté completamente terminado, de acuerdo con las soluciones adoptadas en el proyecto de ejecución.

Para ello se emplea la suite de ingeniería y construcción CYPE, mediante el cual se crea el modelo geométrico del edificio, BIM (*“Building Information Modeling”*), que será utilizado para realizar los análisis energéticos, obteniendo la calificación de eficiencia energética, a través de la herramienta informática promovida por el Ministerio de Fomento: CALENER VYP.

Tras el análisis energético, se plantean diversas actuaciones sobre los elementos constructivos y sobre las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, para mejorar el nivel de eficiencia energética del edificio. Se estudia la viabilidad económica de estas soluciones, así como sus beneficios en cuanto a ahorro económico y reducción de emisiones de CO_2 , respecto al punto de partida, al que se denomina como “caso base”.

Finalmente se extraen una serie de conclusiones sobre cada mejora propuesta.

Alcance

El alcance de este Trabajo Fin de Grado está definido por la profundidad de los análisis efectuados, y el grado de detalle de los resultados obtenidos.

El nivel de desarrollo de las propuestas realizadas corresponde al de ingeniería básica, describiendo de forma general las soluciones propuestas, su coste económico, su impacto en la eficiencia energética del edificio y su viabilidad tanto técnica como económica en el escenario actual.

Objetivos

Los objetivos a completaren el presente Trabajo Fin de Grado son:

- Revisión de antecedentes normativos en materia de eficiencia energética así como de la situación actual a nivel nacional e internacional del estado del arte de la eficiencia energética
- Definición geométrica y constructiva del edificio objeto de estudio a través del software CYPECAD MEP.
- Determinación de cargas térmicas de refrigeración y calefacción, características de la envolvente térmica y patologías de puentes térmicos y humedades.
- Análisis energético mediante simulación dinámica, empleando el software CALENER VYP y Energy-Plus.
- Obtención de la demanda energética mensual, el consumo de energía final y energía primaria, las emisiones de CO_2 asociadas, y la calificación de eficiencia energética.
- Propuesta de mejoras y soluciones encaminadas a aumentar la eficiencia energética del edificio, de acuerdo con la tecnología disponible en el mercado y en la zona.
- Evaluación económica de cada propuesta de mejora y comparación con el punto de partida decidiendo sobre su viabilidad y rentabilidad.

Capítulo 2

Análisis energético: Simulación dinámica del edificio

2.1. Introducción

En este capítulo se realiza el análisis energético del edificio objeto de estudio.

Se parte del modelo BIM (*Building Information Modelling*), creado mediante el software CYPECAD MEP, y que contiene las características geométricas y constructivas del edificio objeto de estudio, de acuerdo con el proyecto de ejecución [?] y que han sido verificadas mediante la correspondiente visita a obra *Anexo ??*.

Mediante el software, CYPECAD MEP, se realiza un análisis térmico del edificio, obteniendo los siguientes resultados:

- Parámetros característicos de la envolvente térmica.
- Balance energético anual.
- Perfil de temperatura media anual en viviendas.
- Cargas térmicas de calefacción y refrigeración.
- Puentes térmicos lineales.

Utilizando la interfaz gráfica de CYPECAD MEP, se realiza una simulación dinámica del edificio empleando el motor de cálculo Energy Plus¹ obteniendo:

- Demanda térmica de calefacción y refrigeración mensual y por vivienda.

Utilizando el software CALENER VYP², se obtiene la calificación de eficiencia energética del edificio de acuerdo con la normativa vigente a la fecha de redacción de este Trabajo Fin de Grado.

2.2. Presentación del modelo BIM

Como se ha mencionado en la introducción de este capítulo, se parte del modelo BIM del edificio que contiene la información geométrica y constructiva necesaria para realizar el análisis energético, el cual ha sido creado mediante CYPECAD MEP. Este proceso queda reflejado en el *Anexo ??*.

En la figura 2.1 se presenta el modelo BIM del edificio creado, y en la figura 2.2 una fotografía del

¹Software de simulación energética de edificios desarrollado por DOE (*Department of Energy*, EEUU)

²Herramienta de calificación de eficiencia energética de edificios de uso residencial oficialmente reconocida para el método general

edificio real en el estado actual, tomada el día de la visita a la obra.



Figura 2.1: Modelo BIM del edificio objeto de estudio



Figura 2.2: Fotografía del edificio objeto de estudio

Como se puede observar, no se representa en el modelo BIM, el acerado con pendiente, y las zonas verdes colindantes.

El acerado es irrelevante en el análisis energético energética, a diferencia de las zonas verdes, que si juegan un papel importante, mediante la proyección de sombras sobre la fachada principal y sus huecos, modificando la radiación solar que recibe

Esta influencia se tiene en cuenta a la hora de configurar el modelo BIM.

Por otra parte, el tener una zona verde próxima a la fachada proporcionará sombra en los meses estivales, lo que hará disminuir la carga de refrigeración necesaria para mantener una temperatura de confort³ en el periodo indicado.

2.3. Parámetros característicos de la envolvente

Se obtienen los valores de transmitancia térmica para cada uno de los elementos que componen la envolvente edificatoria del edificio (cerramiento de fachada, particiones interiores, solados, cubiertas y huecos.) El cálculo de estos parámetros se realiza mediante CYPECAD MEP, y es conforme a la metodología de cálculo expuesta en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del CTE ??.

En la tabla 2.1 se reflejan los parámetros característicos de la envolvente térmica obtenidos para el edificio objeto de estudio, y los valores límite que puede tener un edificio en la misma son climática, de acuerdo con el DB HE-1 del CTE (2006). El cálculo de los parámetros característicos de la envolvente térmica se adjunta en *Anexo ??*.

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS ENVOLVENTE TÉRMICA		
CERRAMIENTOS Y PARTICIONES INTERIORES		
	$U_{Proyecto} (W/m^2K)$	$U_{Límite} (W/m^2K)$
Muro de fachada	0,49	0,95
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	1,46	0,95
Suelos	1,46	0,95
Cubiertas	1,85	0,53
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios	1,99	4,40
Particiones interiores en contacto con zonas comunes no calefactadas	1,86	1,20

Tabla 2.1: Resumen de parámetros característicos de la envolvente térmica

Comparando los valores de la transmitancia térmica de cada uno de los elementos de la envolvente con los mínimos exigidos en el DB HE del CTE (2006) para la zona climática en la que se encuentra el edificio, se llega a las siguientes conclusiones:

- Las particiones horizontales (solados) tienen una transmitancia térmica por encima del límite permitido para la zona climática en la que se encuentra el edificio. Esto se debe a que los solados no cuentan con ningún tipo de aislamiento térmico ademas de que algunos viviendas tienen el solado con el paramento inferior en contacto bien con un espacio no calefactado, como son los locales comerciales y las zonas comunes; ó bien con el exterior (saliente de viviendas del primer piso).
- Las particiones interiores (tabiquerías) tienen una transmitancia térmica por encima del límite permitido para la zona climática en la que se encuentra el edificio. Esto se debe a que las particiones interiores no cuentan con ningún tipo de aislamiento térmico.
- La cubierta de la azotea tienen una transmitancia térmica por encima del límite permitido para la zona climática en la que se encuentra el edificio. Esto se debe a que el aislamiento térmico es insuficiente.

³Temperatura a la cual el cuerpo humano no tiene que poner en marcha mecanismos de regulación de la temperatura propios, esto es, la sudoración y el metabolismo

Adicionalmente, se ha comprobado que se producen condensaciones intersticiales (interior del cerramiento) en los cerramientos de fachada. Esto es debido a que la temperatura en el interior del cerramiento alcanza la temperatura de rocío y el vapor de agua condensa en el interior del cerramiento. El bajo nivel de aislamiento unido al hecho de que no existe una barrera de vapor hace posible esta circunstancia.

2.4. Cargas térmicas de climatización

Se trata de la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo, es decir, la potencia térmica, que cada vivienda intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior, considerando éstas, las exteriores, como las más desfavorables posibles. El cálculo de estas cargas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas. En las figuras 2.3 y 2.4 se representan la carga térmica de calefacción y refrigeración respectivamente para cada vivienda. Se han representado ambas en la misma escala, para hacer notar que la carga térmica de calefacción es superior a la de refrigeración.

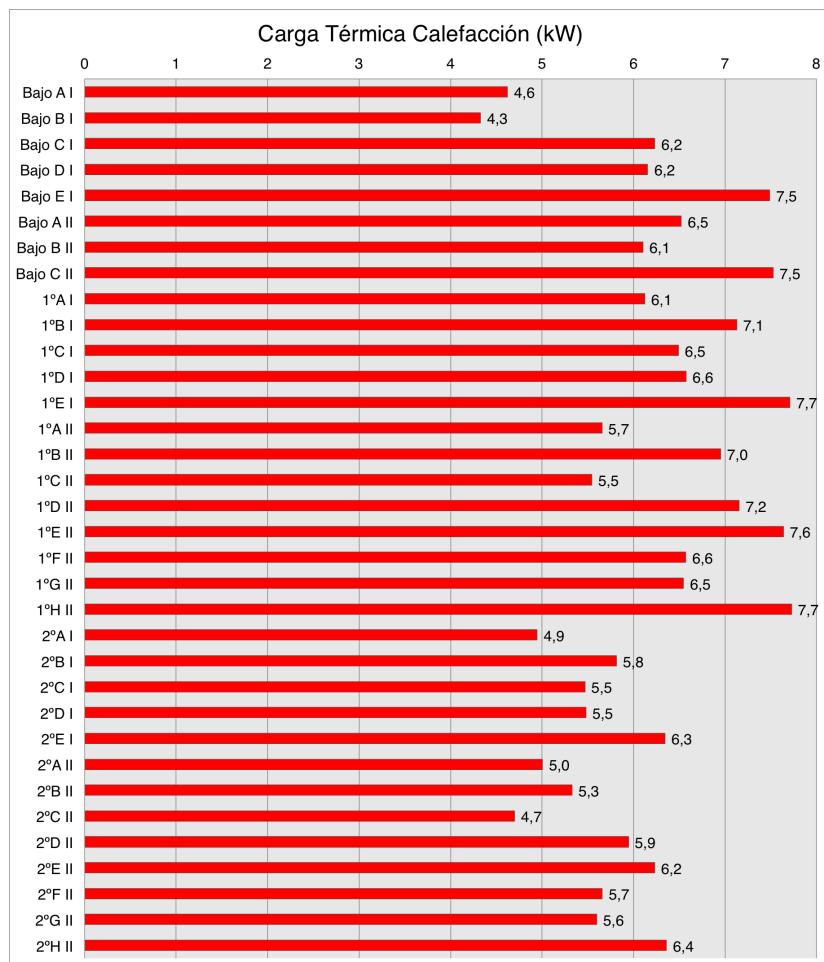


Figura 2.3: Carga térmica de calefacción en viviendas

Destaca que las viviendas Bajo C, 1ºE y 1ºH del portal 2 así como el Bajo E y el 1ºE del portal 1 tienen una carga de calefacción superior a las demás.

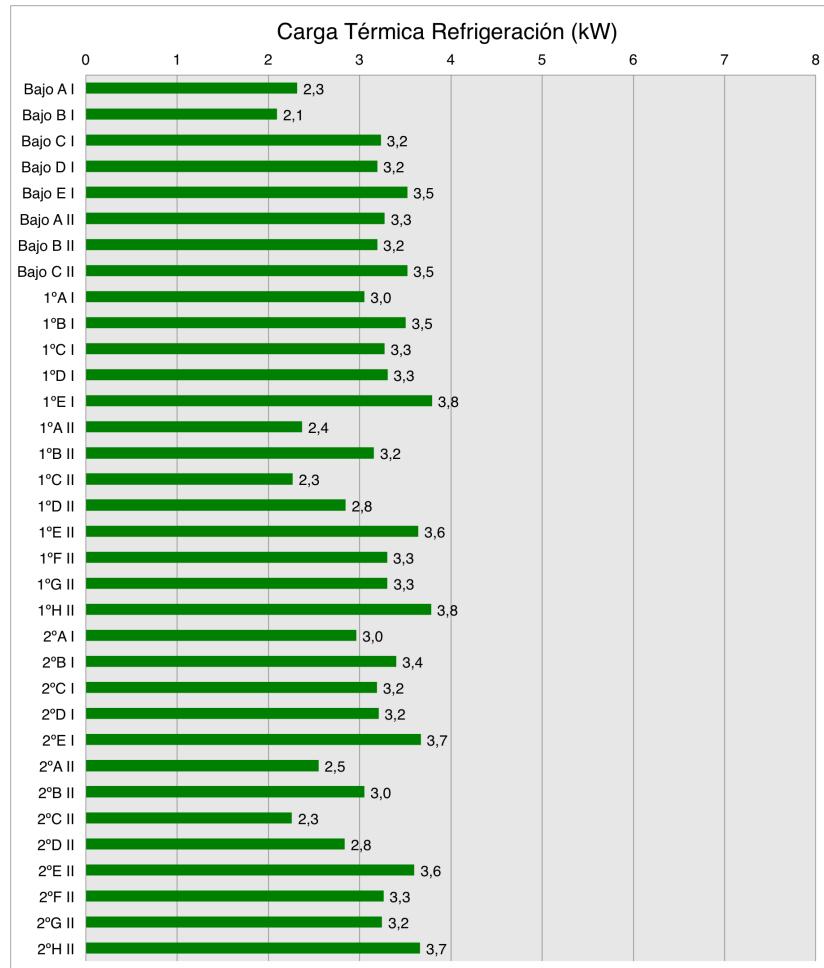


Figura 2.4: Carga térmica de refrigeración en viviendas

En cuanto a la carga de refrigeración, ésta es más homogénea que la de calefacción. No obstante se observa que las viviendas: Bajo A, Bajo B, del portal 1; y las viviendas 1ºA, 1ºC, 2ºA y 2ºC del portal 2 tienen una carga de refrigeración levemente inferior.

2.5. Balance energético anual del edificio

La figura 2.5 representa el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica al exterior a través de elementos pesados y ligeros ($Q_{tr,op}$ y $Q_{tr,w}$, respectivamente), la energía involucrada en el acoplamiento térmico entre zonas ($Q_{tr,ac}$), la energía intercambiada por ventilación (Q_{ve}), la ganancia interna sensible neta ($Q_{int,s}$), la ganancia solar neta (Q_{sol}), el calor cedido o almacenado en la masa térmica del edificio (Q_{edif}), y el aporte necesario de calefacción (Q_H) y refrigeración (Q_C).

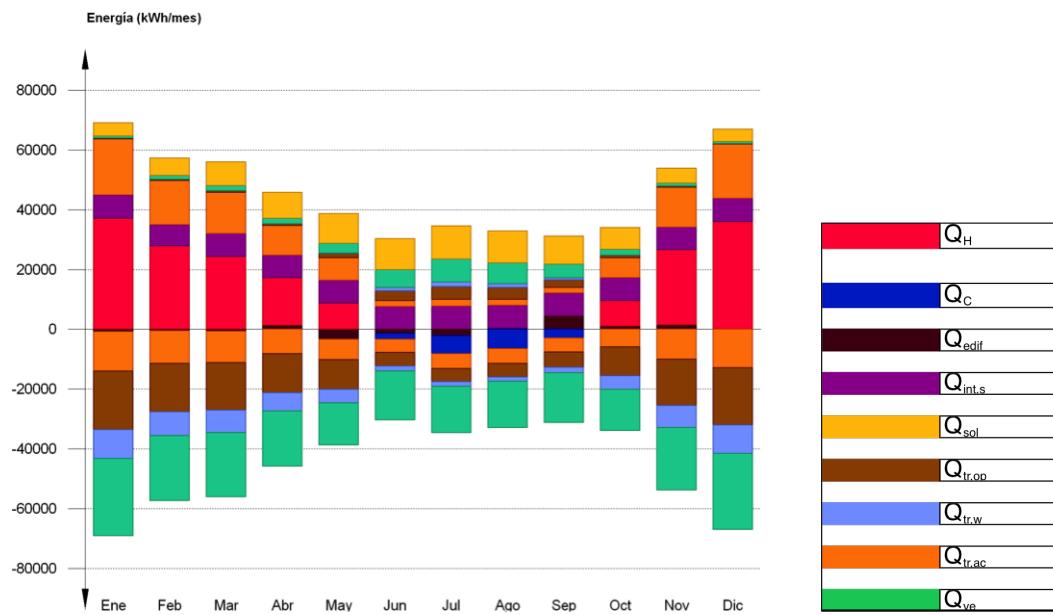


Figura 2.5: Balance energético del edificio anual

2.6. Demanda térmica del edificio

Del análisis energético, se obtienen las demanda de calefacción y refrigeración a lo largo del año. En el *Anexo ??* se adjunta el estudio completo.

Atendiendo únicamente a la demanda energética a cubrir por los sistemas de calefacción y refrigeración, las necesidades energéticas y de potencia útil instantánea a lo largo de la simulación anual se muestran en las figuras 2.6 y 2.7.

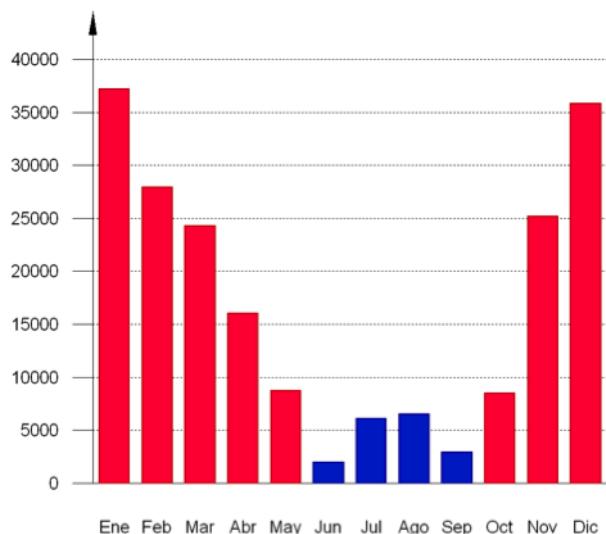


Figura 2.6: Necesidades energéticas (kWh/mes)

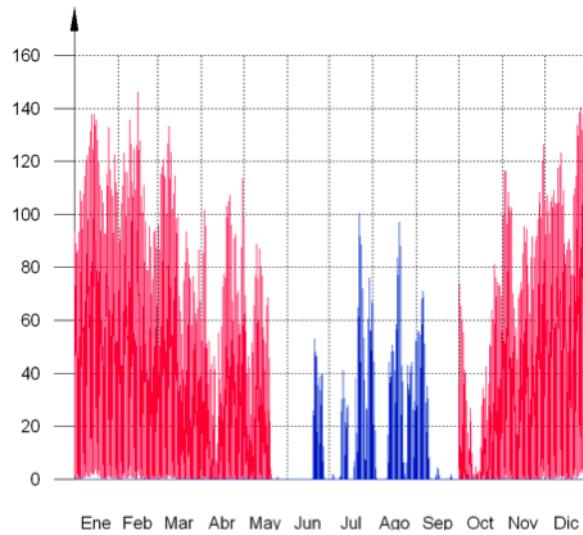
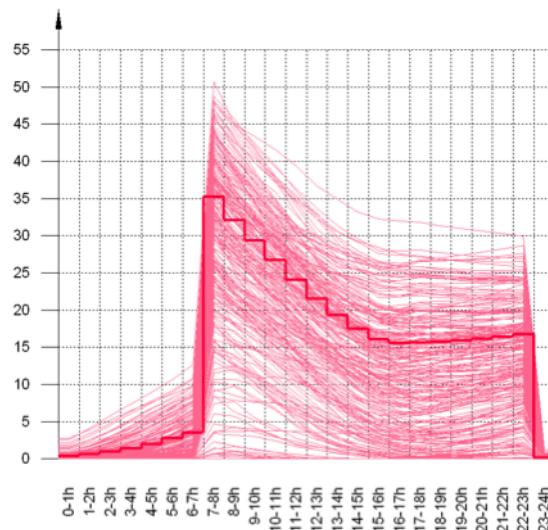


Figura 2.7: Potencia útil instantánea anual (kW)

En las figuras 2.8 y 2.9, se muestran las potencias útiles instantáneas por superficie acondicionada de aporte de calefacción y refrigeración para cada uno de los días de la simulación en los que se necesita aporte energético para mantener las condiciones interiores impuestas, mostrando cada uno de esos días de forma superpuesta en una gráfica diaria en horario legal, junto a una curva típica obtenida mediante la ponderación de la energía aportada por día activo, para cada día de cálculo.

Figura 2.8: Demanda diaria superpuesta de calefacción (W/m^2)

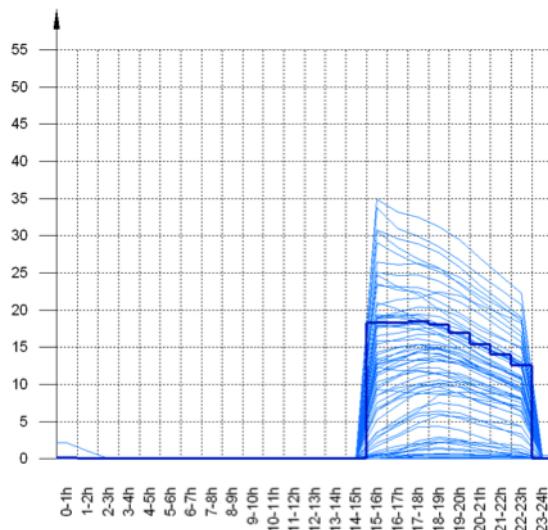


Figura 2.9: Demanda diaria superpuesta de refrigeración (W/m^2)

En cuanto a períodos críticos del año, se observa que la demanda térmica de calefacción más alta se produce en el mes de Enero, mientras que la demanda térmica de refrigeración más alta se produce en el mes de Agosto.

En las figuras 2.10 y 2.11 se representan las demandas térmicas en los meses de Enero y Agosto, respectivamente .

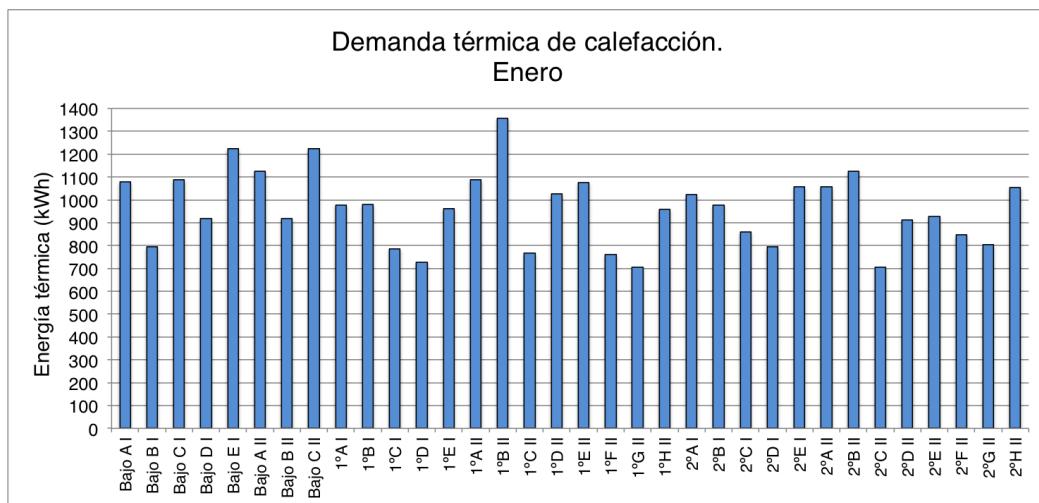


Figura 2.10: Demanda de calefacción en Enero

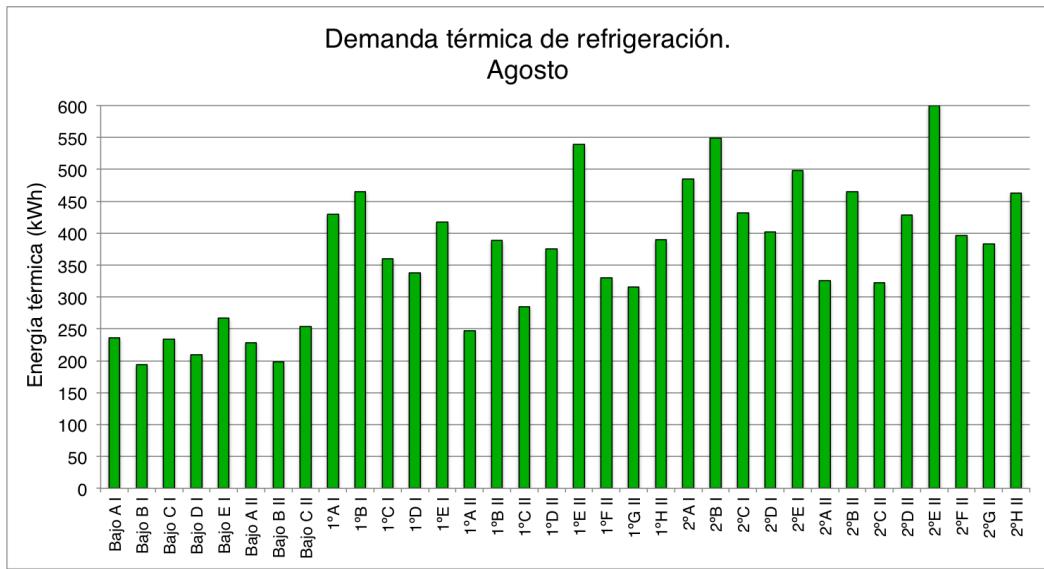


Figura 2.11: Demanda de refrigeración en Agosto

En demanda térmica de calefacción destacan del portal 1 el Bajo E, y del portal 2, el Bajo C y el 1ºB, debido a su orientación y superficie útil, y superficie de fachada en contacto con el exterior.

Se observa que los bajos tiene menor demanda de refrigeración. En la planta primera, destaca el 1ºE del portal 2, el cual tiene una demanda de refrigeración superior a los de su misma planta, debido a las ganancias de calor por radiación solar. En la planta segunda, se observa lo mismo, es el 2ºE del portal 2, la vivienda con mayor demanda de refrigeración.

2.7. Comportamiento energético

De la simulación energética en CALENER VYP, se obtienen los siguientes resultados en unidades anuales y en ratio de superficie útil, de acuerdo con las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria contempladas en el proyecto original del edificio.

- Demanda de calefacción y refrigeración.
- Consumo de Energía Final Total y desglosada por servicios energéticos (calefacción, refrigeración y ACS).
- Consumo de Energía Primaria Total y desglosada por servicios energéticos (calefacción, refrigeración y ACS).
- Emisiones de CO_2 Totales y de cada servicio energético

En la figura 2.12 se muestran los resultados que ofrece CALENER VYP, tras la simulación, junto con la calificación de eficiencia energética, comparando el edificio objeto de estudio con el edificio de referencia, que es uno que cumple estrictamente con los mínimos exigidos a un edificio en la misma zona climática que el edificio objeto de estudio.

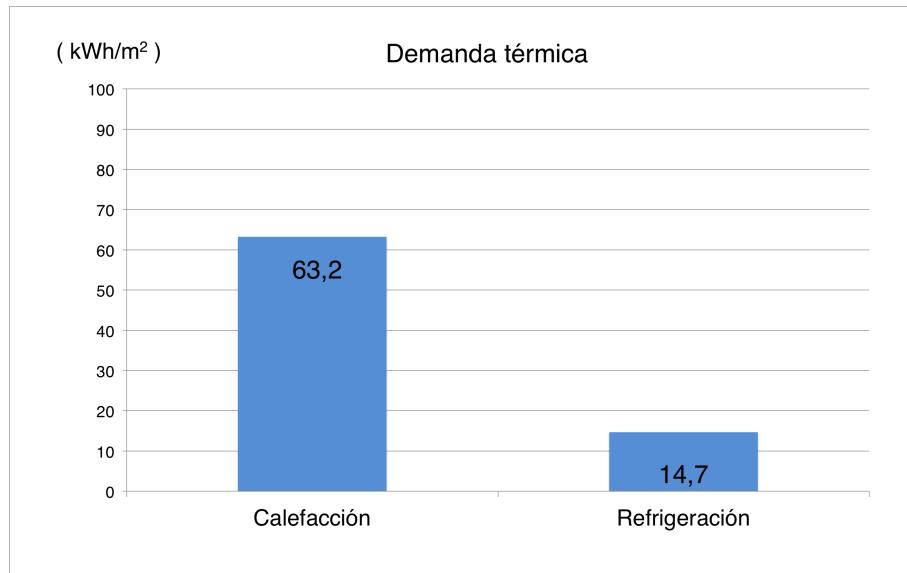


Figura 2.13: Demanda térmica normalizada

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO ₂ /m ²		Edificio Objeto	Edificio Referencia
<6,2	A		
6,2-11,0	B		
11,0-17,8	C		
17,8-28,0	D		
28,0-54,3	E	46,6 E	29,6 E
54,3-61,4	F		
>61,4	G		
		Clase	kWh/m ²
Demanda calefacción		E	63,1
Demanda refrigeración		C	14,7
		Clase	kgCO ₂ /m ²
Emisiones CO₂ calefacción		E	35,5
Emisiones CO₂ refrigeración		D	5,1
Emisiones CO₂ ACS		G	6,0
Emisiones CO₂ totales		E	46,6
		Clase	kWh/año
Consumo energía primaria calefacción		E	141,3
Consumo energía primaria refrigeración		D	20,4
Consumo energía primaria ACS		G	24,0
Consumo energía primaria totales		E	185,6
		Clase	kgCO ₂ /año
Emisiones CO₂ calefacción		E	127997,6
Emisiones CO₂ refrigeración		E	18388,4
Emisiones CO₂ ACS		D	21633,4
Emisiones CO₂ totales		E	168019,4
		Clase	kWh/m ²
Consumo energía final calefacción		E	62,6
Consumo energía final refrigeración		D	19,9
Consumo energía final ACS		E	29,6
Consumo energía final totales		E	106607,0
		Clase	kWh/año
Consumo energía final calefacción		E	327040,4
Consumo energía final refrigeración		E	112077,6
Consumo energía final ACS		D	29306,5
Consumo energía final totales		E	468424,4

Figura 2.12: resultados CALENER VYP

En la figura 2.13, se representa la demanda energética del edificio, en la figura 2.14) se representa el consumo de Energía Final junto con el consumo de Energía Primaria, y en la figura 2.15) se representan las emisiones de CO_2 asociadas

Se observa es que la demanda de calefacción es notablemente superior a la de refrigeración. Esto es algo característico en los edificios ubicados en la zona climática IV. Existe una diferencia considerable entre el consumo de Energía Primaria y el consumo de Energía Final. Esto es debido al factor de conversión de Energía Final a Energía Primaria que le asigna a la electricidad como fuente de energía, el Ministerio de

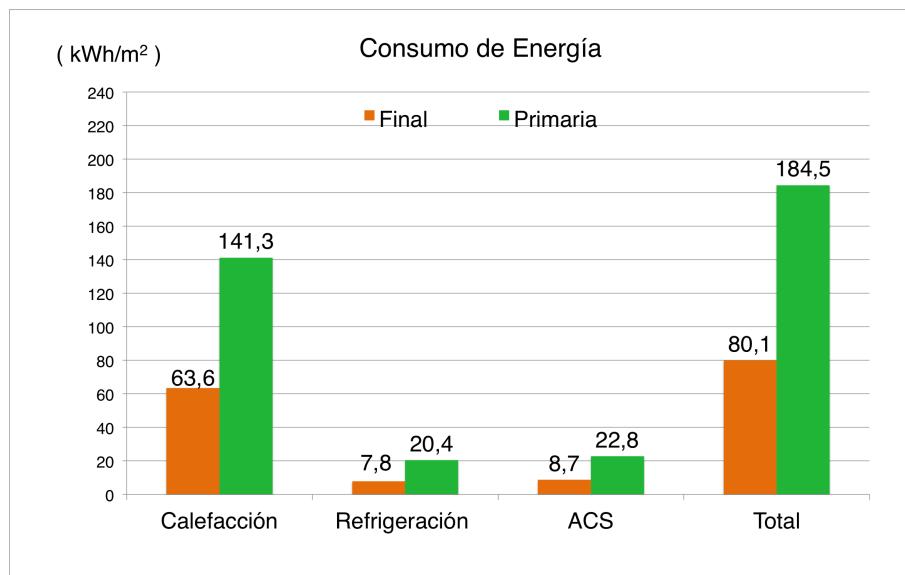
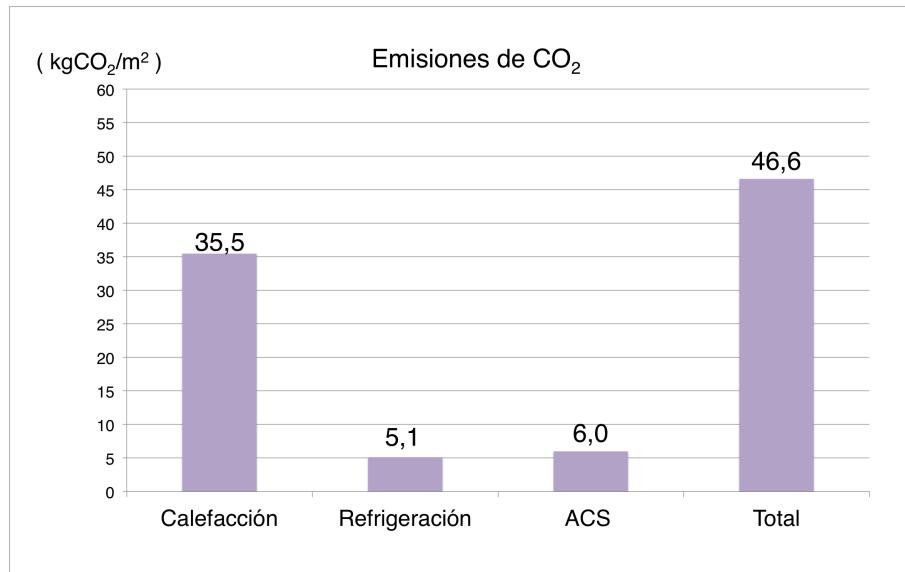


Figura 2.14: Consumos de Energía Final y Energía Primaria normalizados

Figura 2.15: Emisiones de CO₂ asociadas al consumo energético

Factores de conversión de energía final a primaria para CALENER (4-11-05):

Fuente: IDAE	
Electricidad convencional peninsular	2,61 kWh energía primaria /kWh energía final
Electricidad convencional extra-penínsular (Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla)	3,35 kWh energía primaria /kWh energía final
Gasóleo, fuel-oil y GLP	1,08 kWh energía primaria /kWh energía final
Gas natural	1,01 kWh energía primaria /kWh energía final
Carbón	1,00 kWh energía primaria /kWh energía final

Figura 2.16: Factores de conversión de Energía Final a Energía Primaria. Fuente: [?]

Industria, Turismo y Transporte junto con el IDAE a través de CALENER VYP, y que viene recogido en [?]. Los factores de conversión se muestran en la figura 2.16, donde el asociado a la electricidad convencional nacional, tiene un valor notablemente superior al de otras fuentes energéticas como el gas natural, gasóleo ó el GLP.

En cuanto a las emisiones de CO_2 , se observa que estas son elevadas, comparadas con el edificio de referencia. La razón se encuentra en el coeficiente de emisiones de CO_2 asociado a la electricidad, el cual, al igual que ocurre con el factor de conversión de energías, es más alto que el de otras fuentes energéticas (figura 2.17).

V.4 Coeficientes de paso de energía final a energía primaria y a emisiones de CO_2 **Factores de emisión de CO_2 CALENER (14-11-05):**

Energía térmica	Fuente: IDAE
Gas natural	204 gr CO_2 /kWh t
Gasóleo-C	287 gr CO_2 /kWh t
GLP	244 gr CO_2 /kWh t
Carbón uso doméstico	347 gr CO_2 /kWh t
Biomasa	neutro

Electricidad	Fuente: IDAE
Electricidad convencional peninsular	649 gr CO_2 /kWh e
Electricidad convencional extra-penínsular (Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla)	981 gr CO_2 /kWh e

Figura 2.17: Coeficientes de paso de Energía Primaria a Emisiones de CO_2 . Fuente: [?]

2.8. Calificación de eficiencia energética

El procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes y de nueva construcción actualmente vigente (Real Decreto 47/2007, de 19 de enero), establece que el criterio de calificación energética será en relación al valor de emisiones de CO_2 asociadas al los consumo energéticos de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Por tanto la calificación de eficiencia energética obtenida para este edificio, corresponde con una letra E. En la figura 2.18 se muestra la etiqueta con la

2.8. CALIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

31

calificación energética creada para el edificio objeto de estudio.

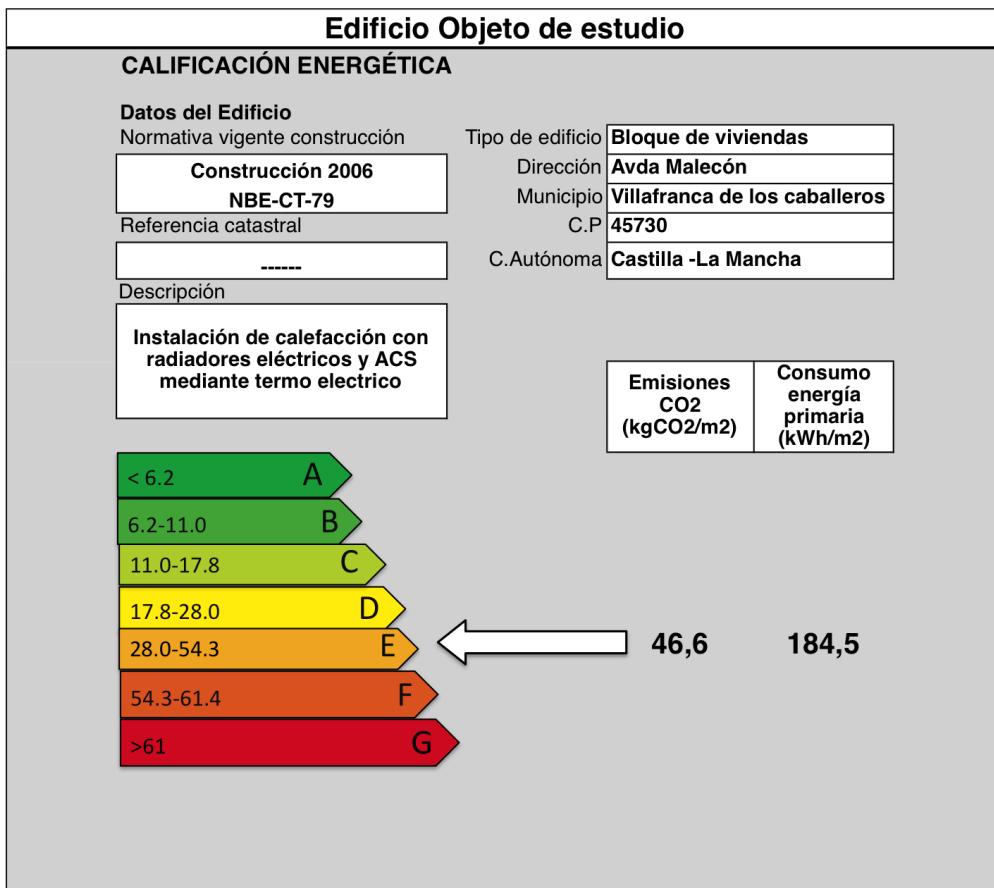


Figura 2.18: Calificación de eficiencia energética del edificio objeto de estudio

Capítulo 3

Resultados energéticos propuestas de mejora

Introducción

En este anexo se muestran los resultados energéticos obtenidos con la implementación de las propuestas de mejora, presentadas en el *Capítulo 4*.

Instalación solar térmica para ACS

Resultados

Energía y Emisiones CO_2

La instalación solar térmica diseñada cubrirá el 75 % de las necesidades de agua caliente sanitaria de los usuarios del edificio¹. Se trata de una energía de origen 100 % renovable². Se evita de esta forma, la emisión de 15 toneladas de CO_2 al año, que de otro modo, hubiera tenido lugar, al tener que generar el 100 % del ACS mediante el termo eléctrico inicialmente proyectado. Fruto del ahorro energético se obtiene un beneficio económico. En la figura 3.1 se representan las necesidades de ACS, la aportación de la instalación solar diseñada y la producción de ACS mediante equipo auxiliar a lo largo del año.

¹Consumos normativos, de acuerdo al DB HE-4 del CTE

²Excluyendo las emisiones de CO_2 en la fabricación e instalación de los equipos y materiales que forman la instalación

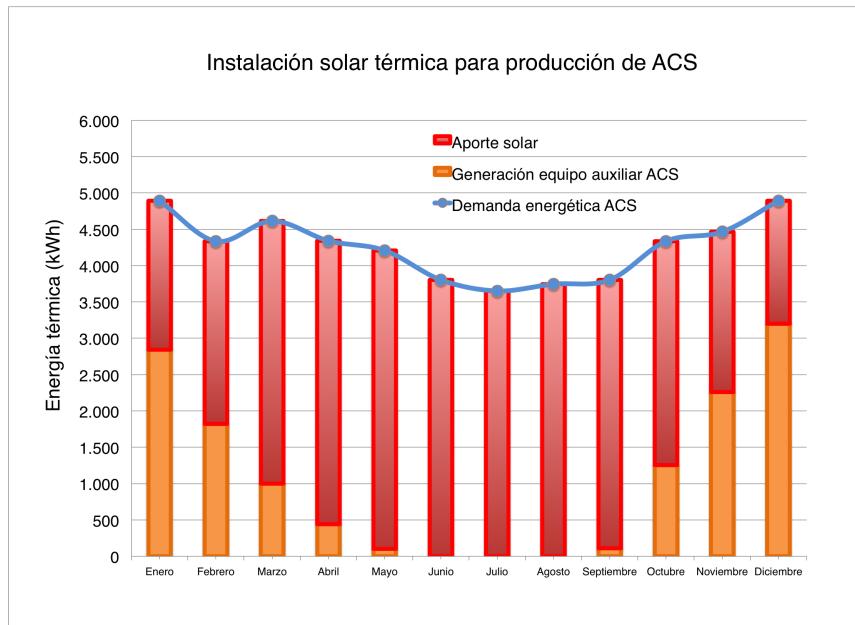


Figura 3.1: Evolución de la producción y consumo de ACS a lo largo del año

La influencia de la instalación solar térmica sobre la eficiencia energética, recae por una parte, en el consumo de energía primaria asociado al servicio de ACS, y por otra parte, en la reducción de emisiones de CO_2 asociadas a este consumo. Teniendo en cuenta estos dos aspectos, se compara el consumo de energía primaria de ACS y las emisiones de CO_2 asociadas con los obtenidos para el “caso base” en el *Capítulo 2*.

Con la implementación de la instalación solar se produce una reducción del consumo de energía (tanto Final como Primaria) destinada a ACS del **74 %**. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran los consumos de Energía Primaria y Energía Final asociados al servicio de ACS, normalizados por la superficie útil y en ratio anual respectivamente.

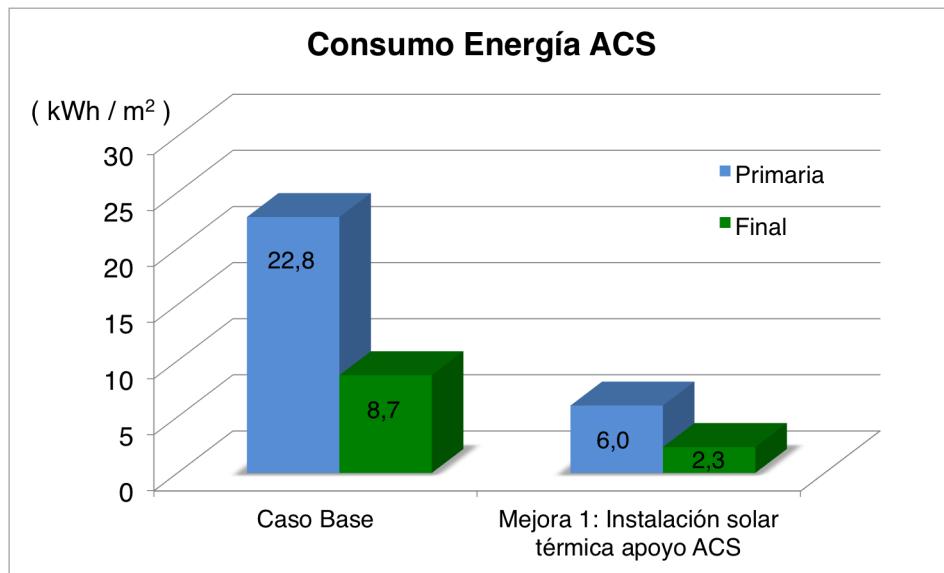


Figura 3.2: Consumo energético normalizado con la instalación solar térmica

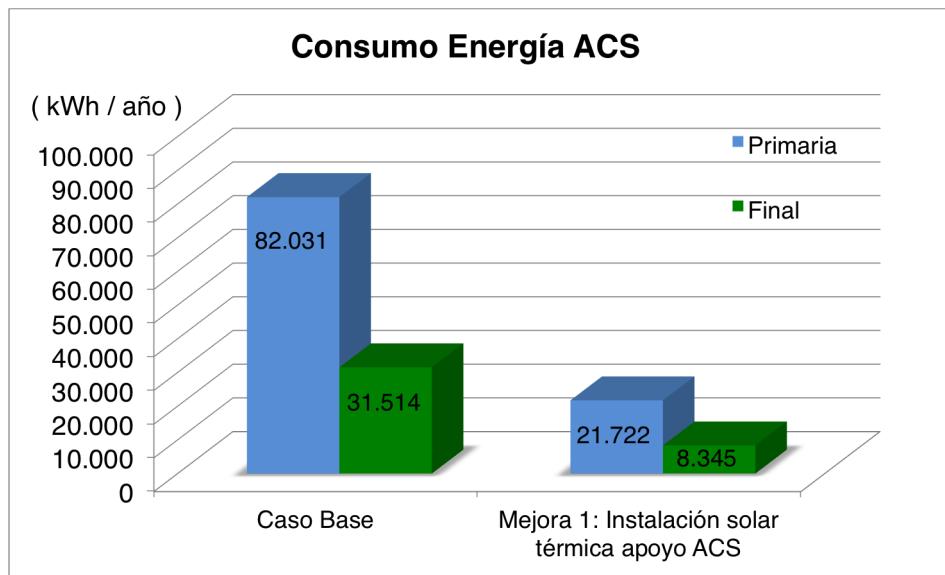


Figura 3.3: Consumo energético anual con la instalación solar térmica

En cuanto a las Emisiones de CO_2 asociadas al servicio de ACS, la reducción es del **74%** lo cual se traduce en evitar emitir a la atmósfera **15 toneladas de CO_2** al año. (Figuras 3.4 y 3.5)

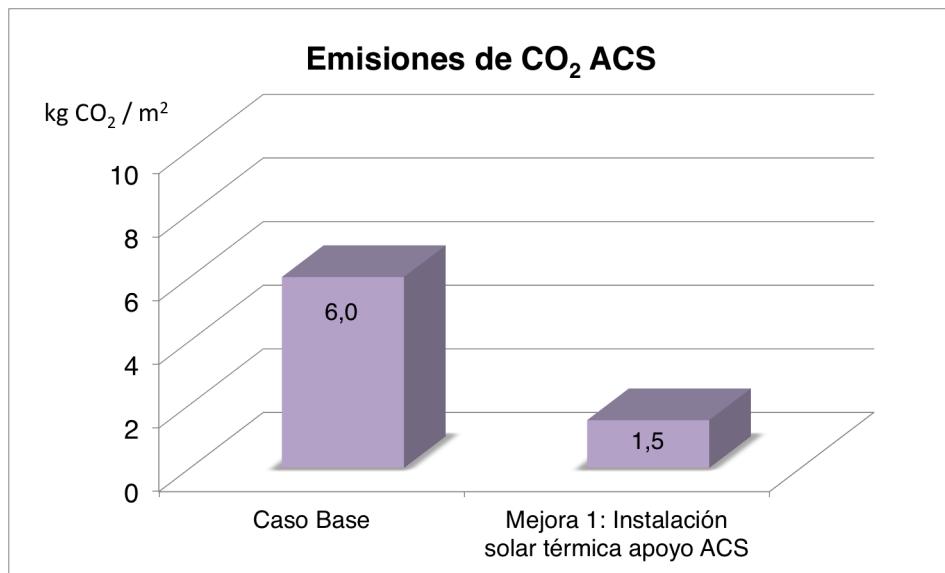


Figura 3.4: Emisiones de CO_2 normalizadas con la instalación solar térmica

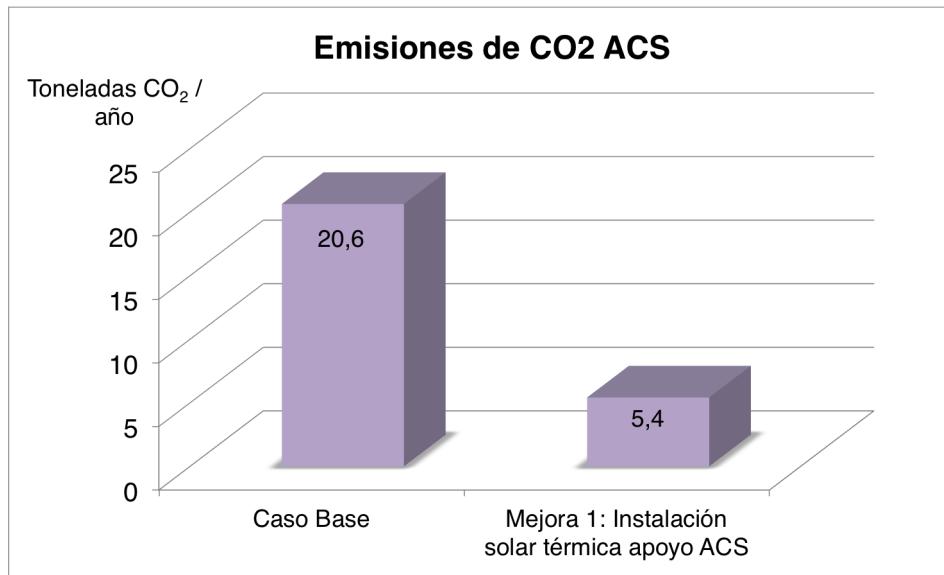


Figura 3.5: Emisiones de *CO₂* anuales en toneladas métricas con la instalación solar térmica

En **términos globales**, la reducción en consumo de **Energía Final** es del **8 %**, y en consumo de **Energía Primaria** del **9 %**. En las figuras 3.6 y 3.7 se representan los consumos energéticos asociados al ACS junto al consumo energético total, tanto de Energía Final como Energía Primaria, normalizados por la superficie útil. En las figuras 3.8 y 3.9 se representan los consumos de Energía Final y Energía Primaria en ratio anual.

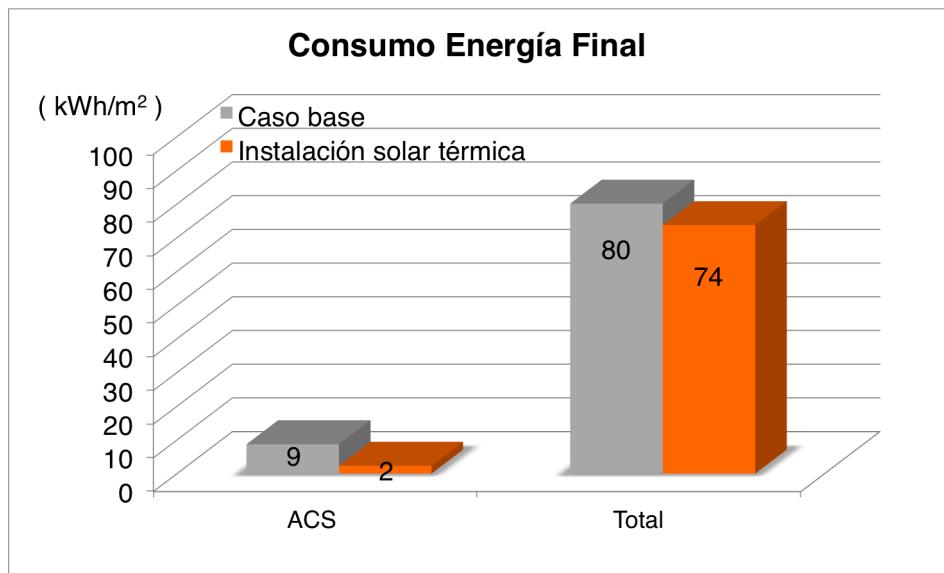


Figura 3.6: Consumo de Energía Final normalizado con instalación solar térmica

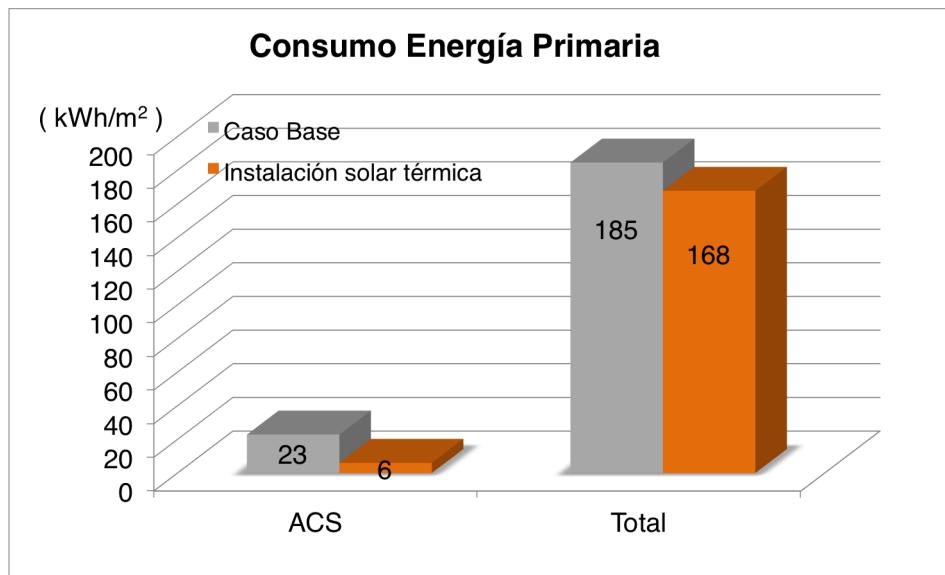


Figura 3.7: Consumo de Energía Primaria normalizado total con instalación solar térmica

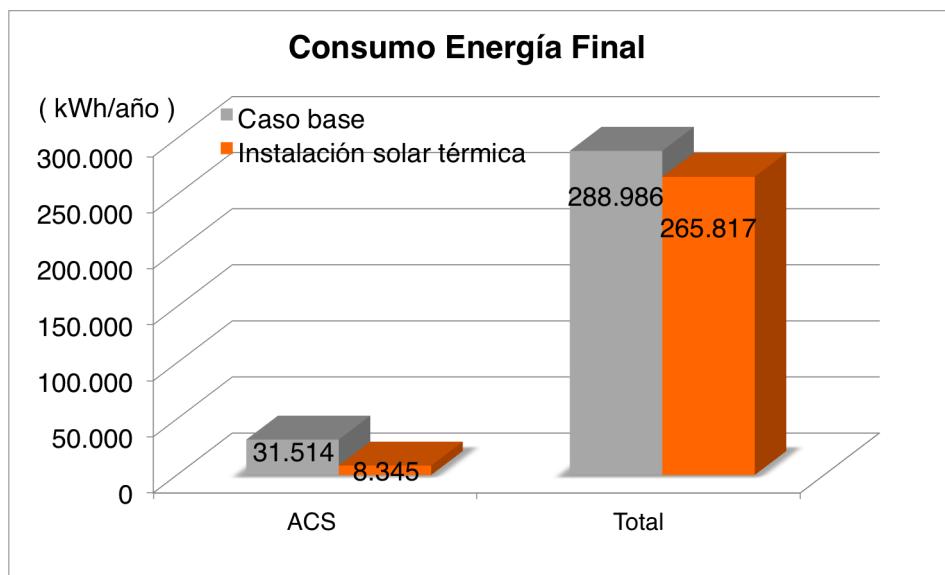


Figura 3.8: Consumo de Energía Final anual con instalación solar térmica

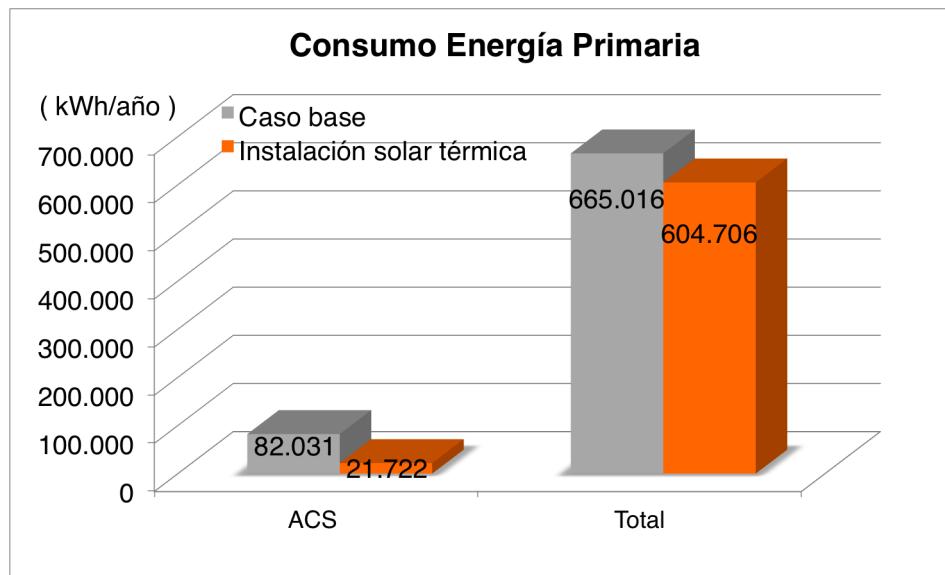


Figura 3.9: Consumo de Energía Primaria anual con instalación solar térmica

La **reducción global de emisiones de CO_2** es del **9 %**. En las figuras 3.10 y 3.11 se representan las emisiones de CO_2 asociadas al consumo de ACS y en total, normalizadas por la superficie útil.

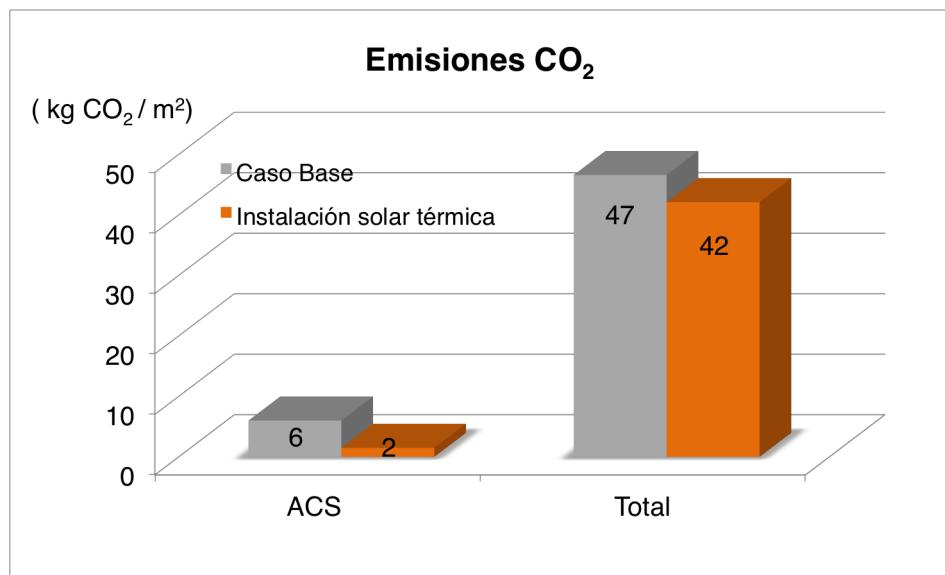


Figura 3.10: Emisiones de CO_2 normalizadas con instalación solar térmica

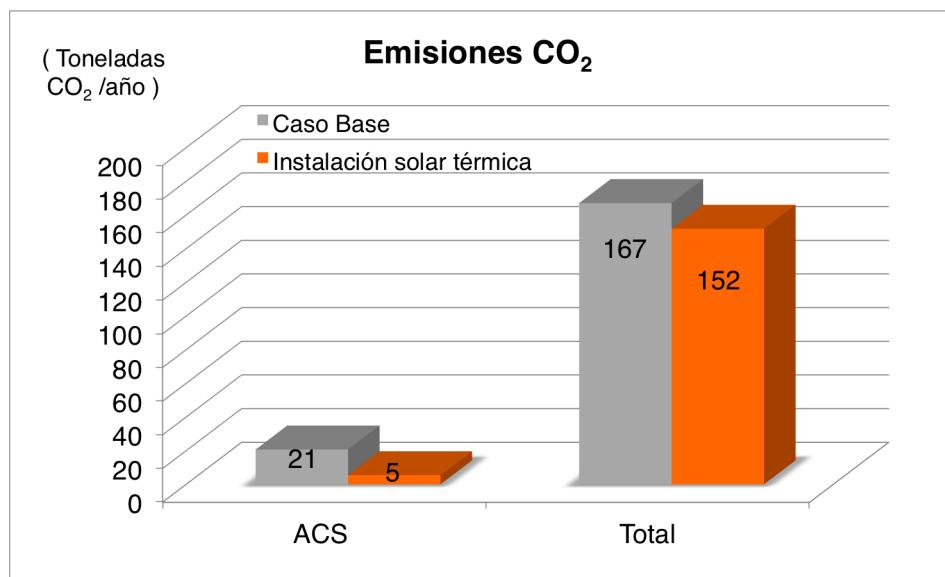


Figura 3.11: Emisiones de CO_2 anuales en toneladas métricas con instalación solar térmica

De las figuras 3.8 y 3.9 se deduce que la reducción de consumo energético total conseguida no es significativa, ya que la fracción de energía que representa el ACS en el consumo energético total del edificio es muy inferior al de las fracciones de calefacción y refrigeración.

En la tabla 3.1 se realiza una comparativa entre el edificio de partida y el edificio mejorado con la instalación de captación solar

MEJORA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		
	EDIFICIO BASE	EDIFICIO ACS SOLAR
<i>Fuente principal de energía</i>	Electricidad	Electricidad y Energía solar térmica
<i>Generación de calor</i>	Efecto “joule”	Efecto “joule”
<i>Sistema calefacción</i>	Radiador de aceite	Radiador de aceite
<i>Sistema ACS</i>	Termostato eléctrico	Termostato eléctrico y Energía solar térmica
<i>Indicador de Emisiones (kgCO₂/m²)</i>	46,6	42,1
<i>Indicador de Energía Primaria (kWh/m²)</i>	184,5	167,7
<i>Calificación</i>	E	E

Tabla 3.1: Comparativa calificación energética con instalación solar térmica

La calificación para cada indicador energético en base a la figura 4.1 es la que se muestra en la tabla 3.2.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS		
INDICADOR ENERGÉTICO	CASO BASE	MEJORA INSTALACIÓN SOLAR
Demanda Calefacción	E	E
Demanda Refrigeración	C	C
Consumo Energía Primaria Calefacción	E	E
Consumo Energía Primaria Refrigeración	D	D
Consumo Energía Primaria ACS	G	D
Consumo Energía Primaria TOTAL	E	E
Emisiones CO_2 Calefacción	E	E
Emisiones CO_2 Refrigeración	D	D
Emisiones CO_2 ACS	G	D
Emisiones CO_2 TOTAL	E	E

Tabla 3.2: Clasificación de los indicadores energéticos con instalación solar térmica

Mejora de la envolvente térmica

Resultados

Demanda Térmica y Superficies

Se implementan las propuestas de mejora al modelo del edificio y se realiza una simulación dinámica, obteniendo las demanda de calefacción y refrigeración, así como las cargas térmicas de calefacción y refrigeración (máxima potencia térmica).

Como la adicción de aislamiento se realiza por el interior, se produce una reducción de la superficie útil de cada vivienda, así como una reducción del volumen habitable, por aumento de la cota del suelo. No obstante estas reducciones son pequeña magnitud y justificables por el ahorro energético que se consigue.

La reducción de la carga térmica de calefacción de cada vivienda se muestra en la tabla 3.3 y la reducción de la carga térmica de refrigeración de cada vivienda se muestra en la tabla 3.4.

CARGAS TÉRMICAS CALEFACCIÓN				
Vivienda	Inicial (kW)	Final (kW)	Reducción(kW)	Reducción(%)
<i>Planta Baja</i>				
Bajo A I	4,6	2,7	2,0	42
Bajo B I	4,3	2,3	2,0	46
Bajo C I	6,2	3,5	2,8	44
Bajo D I	6,2	3,9	2,2	36
Bajo E I	7,5	4,7	2,8	37
Bajo A II	6,5	3,6	2,9	44
Bajo B II	6,1	3,9	2,2	36
Bajo C II	7,5	4,7	2,8	38
<i>Planta Primera</i>				
1ºA I	6,1	3,4	2,8	45
1ºB I	7,1	4,0	3,2	44
1ºC I	6,5	4,0	2,5	38
1ºD I	6,6	4,2	2,3	35
1ºE I	7,7	4,8	2,9	38
1ºA II	5,7	2,7	2,9	51
1ºB II	7,0	3,9	3,0	43
1ºC II	5,5	3,5	2,0	37
1ºD II	7,2	4,4	2,7	38
1ºE II	7,6	4,3	3,3	43
1ºF II	6,6	3,8	2,8	42
1ºG II	6,5	4,3	2,2	34
1ºH II	7,7	4,8	2,9	38
<i>Planta Segunda</i>				
2ºA I	4,9	3,3	1,7	34
2ºB I	5,8	3,8	2,0	34
2ºC I	5,5	3,9	1,5	28
2ºD I	5,5	4,1	1,3	25
2ºE I	6,3	4,7	1,7	26
2ºA II	5,0	2,9	2,1	41
2ºB II	5,3	3,6	1,7	32
2ºC II	4,7	3,5	1,2	26
2ºD II	5,9	4,4	1,5	26
2ºE II	6,2	4,7	1,5	25
2ºF II	5,7	4,1	1,6	28
2ºG II	5,6	4,2	1,4	24
2ºH II	6,4	4,7	1,7	26
TOTAL	209,6 kW	133,5 kW	76,1 kW	36,3 %

Tabla 3.3: Listado cargas térmicas calefacción tras mejora envolvente térmica

CARGAS TÉRMICAS REFRIGERACIÓN				
Vivienda	Inicial (kW)	Final (kW)	Reducción(kW)	Reducción(%)
<i>Planta Baja</i>				
Bajo A I	2,3	2,1	0,3	11
Bajo B I	2,1	1,8	0,3	16
Bajo C I	3,2	2,8	0,4	13
Bajo D I	3,2	2,9	0,3	9
Bajo E I	3,5	3,2	0,3	8
Bajo A II	3,3	2,8	0,5	15
Bajo B II	3,2	2,9	0,3	9
Bajo C II	3,5	3,2	0,3	8
<i>Planta Primera</i>				
1ºA I	3,0	2,6	0,4	13
1ºB I	3,5	3,0	0,5	15
1ºC I	3,5	2,9	0,4	12
1ºD I	3,5	3,0	0,3	10
1ºE I	7,8	3,4	0,4	10
1ºA II	2,4	1,8	0,5	22
1ºB II	3,2	2,8	0,4	13
1ºC II	2,3	2,1	0,2	9
1ºD II	2,8	2,5	0,4	13
1ºE II	3,6	3,3	0,4	10
1ºF II	3,3	3,8	0,5	15
1ºG II	3,3	3,0	0,3	10
1ºH II	3,8	3,4	0,4	10
<i>Planta Segunda</i>				
2ºA I	3,0	2,6	0,3	11
2ºB I	3,4	3,0	0,4	13
2ºC I	3,2	2,9	0,3	11
2ºD I	3,2	2,9	0,3	9
2ºE I	3,7	3,4	0,3	8
2ºA II	2,5	2,1	0,5	18
2ºB II	3,0	2,7	0,3	10
2ºC II	2,3	2,1	0,2	8
2ºD II	2,8	2,5	0,3	11
2ºE II	3,6	3,3	0,3	9
2ºF II	3,3	2,9	0,3	11
2ºG II	3,2	3,0	0,3	9
2ºH II	3,7	3,4	0,3	7
TOTAL	106,7 kW	95 kW	11,8 kW	11 %

Tabla 3.4: Listado cargas térmicas refrigeración tras mejora envolvente térmica

Se produce una reducción del **36 %** en la carga térmica en calefacción de media, y una reducción del **11 %** en la carga térmica de refrigeración de media.

En las figuras 3.12 y 3.13 se representan de forma gráfica las cargas térmicas de cada vivienda antes y después de aplicar la mejora de la envolvente térmica.

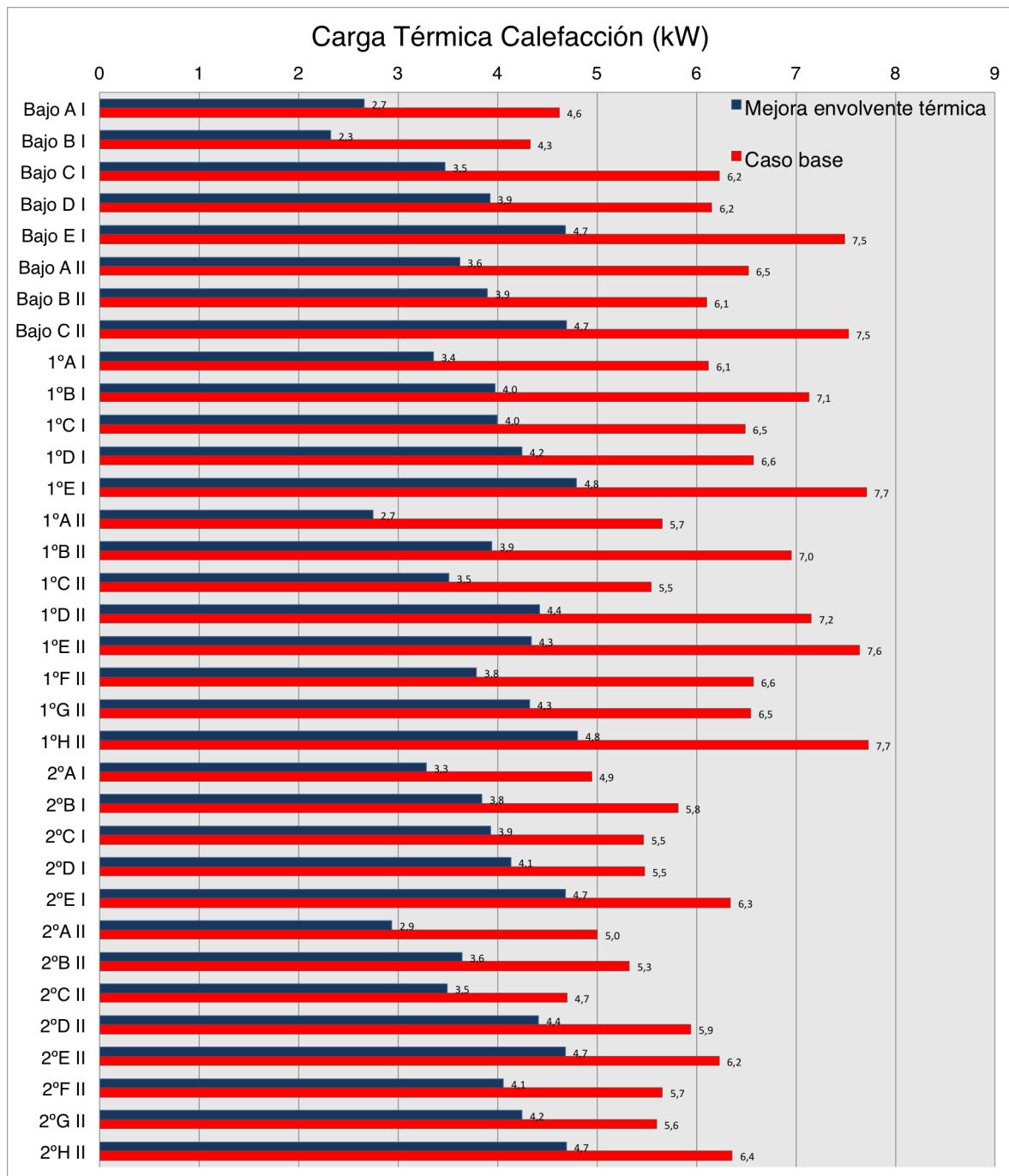


Figura 3.12: Carga Térmica de Calefacción tras mejora de envolvente

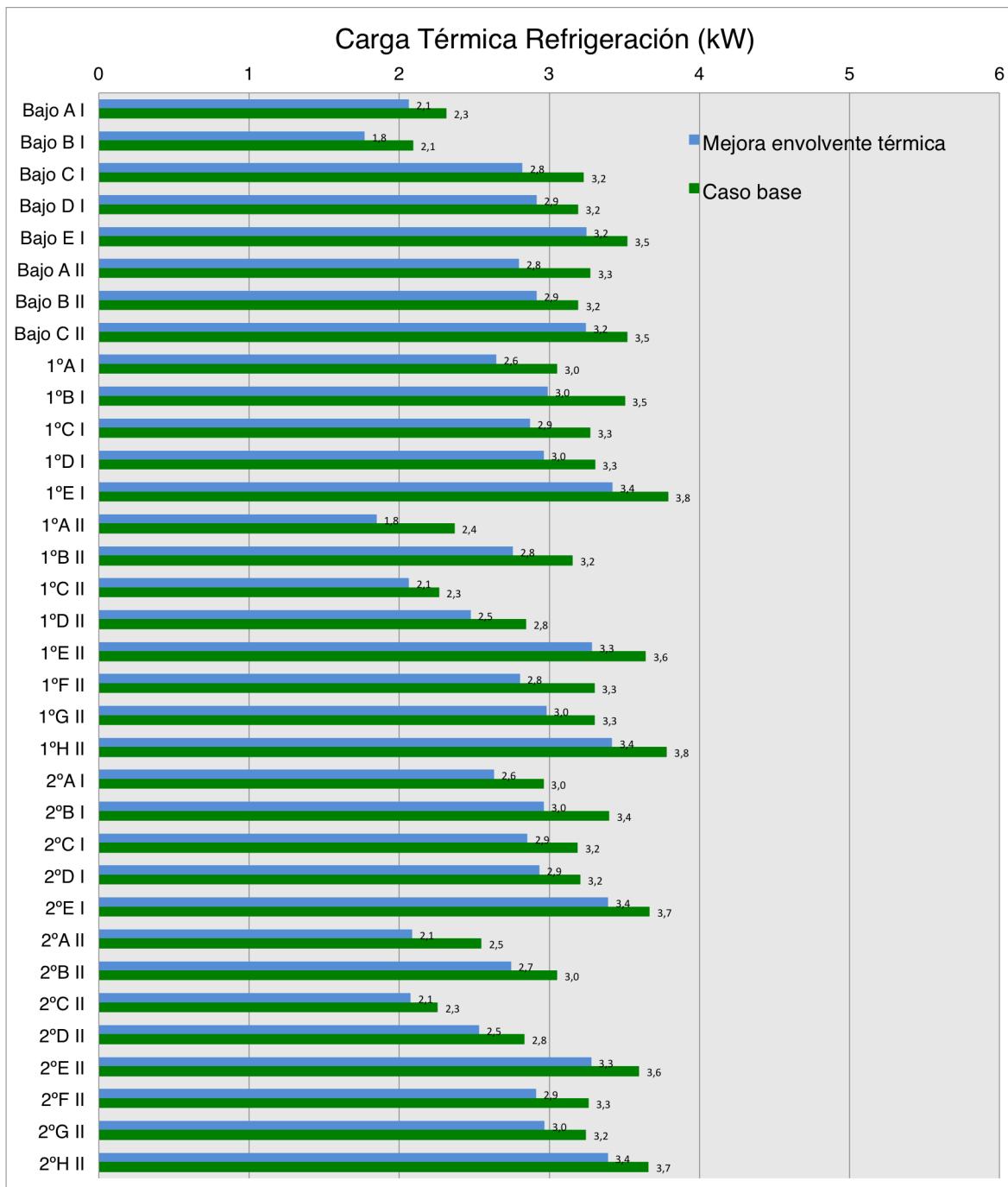


Figura 3.13: Carga Térmica de Refrigeración tras mejora de envolvente

En la figura 3.14 se representan las reducciones de carga térmica

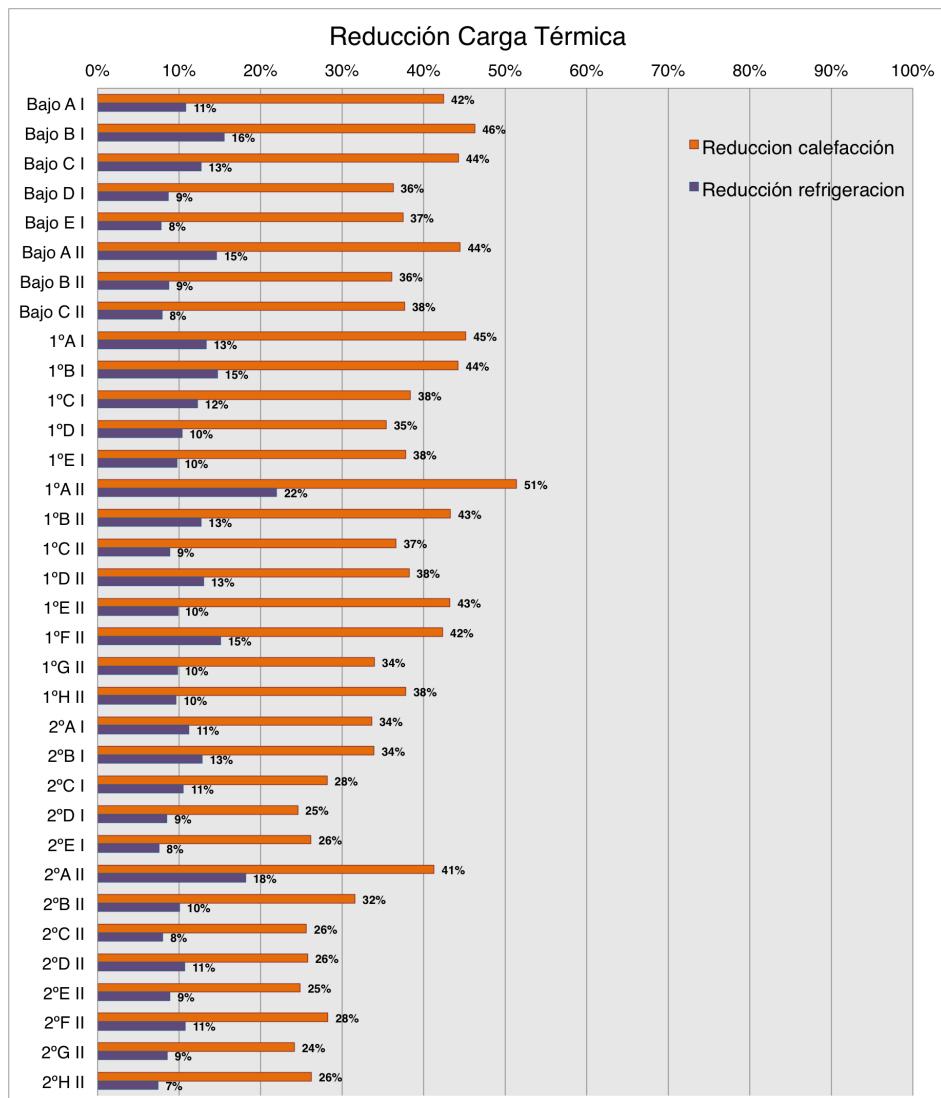


Figura 3.14: Reducción de la carga térmica en viviendas tras mejora de la envolvente

Se observa que en las viviendas de la segunda planta, la reducción de carga térmica es menor que en plantas inferiores.

La reducción de superficie útil en viviendas tras la actuación de la mejora de la envolvente térmica se muestra en la tabla 3.5. De forma gráfica queda expresado en la figura 3.15

CUADRO SUPERFICIE ÚTIL VIVIENDAS				
Vivienda	Inicial (m ²)	Final (m ²)	Reducción(m ²)	Reducción(%)
<i>Planta Baja</i>				
Bajo A I	61,5	58,8	2,7	4,4
Bajo B I	47,2	45,7	1,5	3,1
Bajo C I	68,7	67,1	1,6	2,3
Bajo D I	64,7	63,5	1,2	1,8
Bajo E I	84,5	82,5	2,0	2,3
Bajo A II	68,1	66,6	1,5	2,2
Bajo B II	64,7	63,5	1,2	1,8
Bajo C II	84,5	82,7	1,8	2,1
<i>Planta Primera</i>				
1ºA I	71,8	69,0	2,8	3,9
1ºB I	74,4	72,9	1,5	2,0
1ºC I	68,1	66,9	1,2	1,8
1ºD I	69,1	68,0	1,1	1,6
1ºE I	88,5	86,6	1,9	2,1
1ºA II	57,1	55,1	2,1	3,6
1ºB II	75,9	73,2	2,5	3,3
1ºC II	56,2	55,0	1,2	2,1
1ºD II	79,3	78,0	1,2	1,5
1ºE II	79,6	76,7	2,9	3,6
1ºF II	69,2	68,2	1,0	1,5
1ºG II	69,1	68,4	0,7	1,0
1ºH II	88,5	86,6	1,8	2,0
<i>Planta Segunda</i>				
2ºA I	71,8	69,0	2,8	3,9
2ºB I	74,4	72,9	1,5	1,9
2ºC I	68,1	66,8	1,4	2,0
2ºD I	69,1	67,8	1,3	1,8
2ºE I	88,5	86,7	1,8	2,0
2ºA II	57,2	55,3	1,9	3,4
2ºB II	75,8	73,6	2,3	3,0
2ºC II	56,2	55,1	1,1	1,9
2ºD II	79,4	78,2	1,1	1,4
2ºE II	79,7	77,2	2,5	3,1
2ºF II	69,1	67,8	1,3	1,9
2ºG II	69,1	68,0	1,2	1,7
2ºH II	88,5	86,6	1,9	2,2
TOTAL	2.437,4 m ²	2.380,2 m ²	57,22 m ²	2,35 %

Tabla 3.5: Listado de superficie útil en viviendas tras mejora de la envolvente térmica

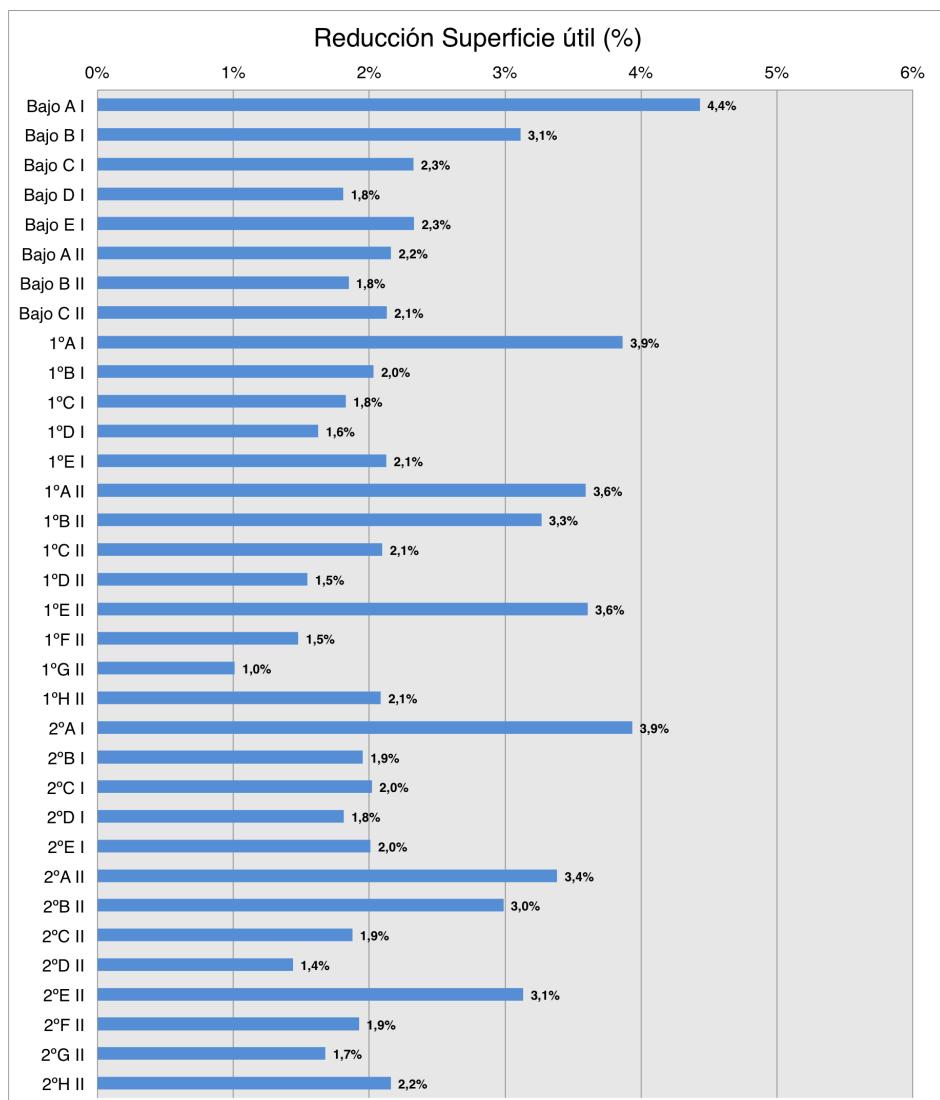


Figura 3.15: Reducción de la superficie útil en viviendas

Las siguientes gráficas de barras muestran el balance energético del edificio mes a mes a lo largo del año, para el caso de la envolvente original (figura 3.16) y la envolvente mejorada (figura 3.17).

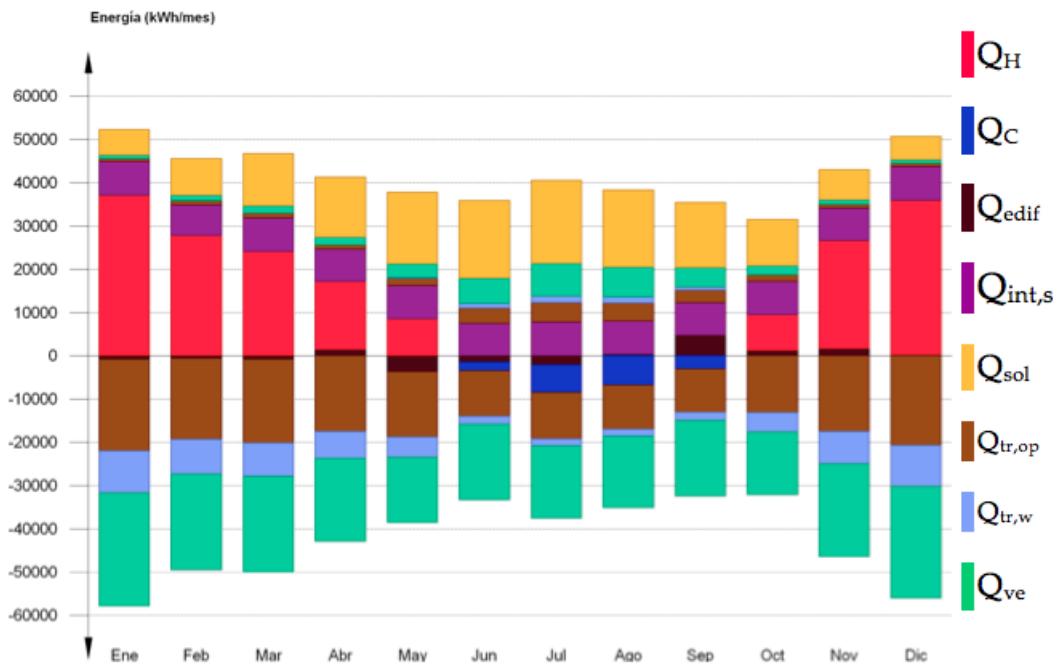


Figura 3.16: Balance energético anual. Edificio caso base

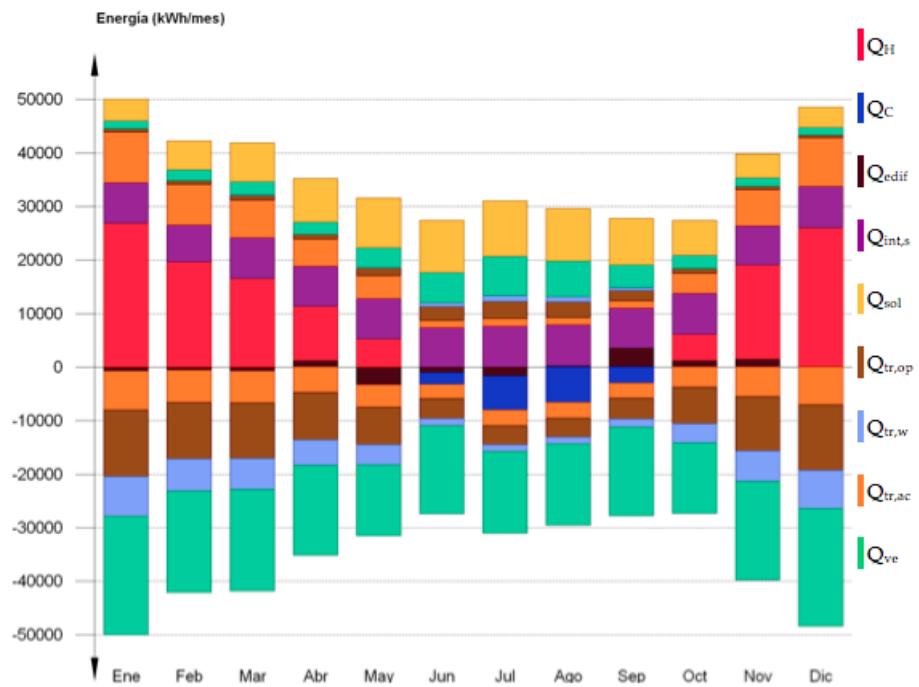


Figura 3.17: Balance energético anual. Edificio con mejora de envolvente

Las variables representadas son las siguientes:

- $Q_{tr,op}$. Energía perdida o ganada por transmisión térmica al exterior a través de elementos pesados.
- $Q_{tr,w}$. Energía perdida o ganada por transmisión térmica al exterior a través de elementos ligeros.

- $Q_{tr,ac}$. Energía involucrada en el acoplamiento térmico entre zonas.
- Q_{ve} . Energía intercambiada por ventilación.
- $Q_{int,s}$. Ganancia interna sensible neta.
- Q_{sol} . Ganancia solar neta.
- Q_{edif} . Calor cedido o almacenado en la masa térmica del edificio.
- Q_H . Aporte necesario de calefacción.
- Q_C . Aporte necesario de refrigeración .

Energía y Emisiones de CO_2

Con objeto de cuantificar el efecto de la mejora, se comparan las demandas térmicas del edificio tras la actuación sobre la envolvente, con las demandas térmicas del edificio con la envolvente original. No se considera a efectos de comparación, la mejora propuesta para el ACS e 4.2, ya que se pretende cuantificar únicamente el efecto de la actuación sobre la envolvente térmica.

En la figura 3.18 se representan de forma global las demandas de calefacción en cada mes del año en el caso del edificio con la envolvente original y con la envolvente mejorada. Se aprecia una reducción de la demanda de calefacción en los meses mas duros del invierno.

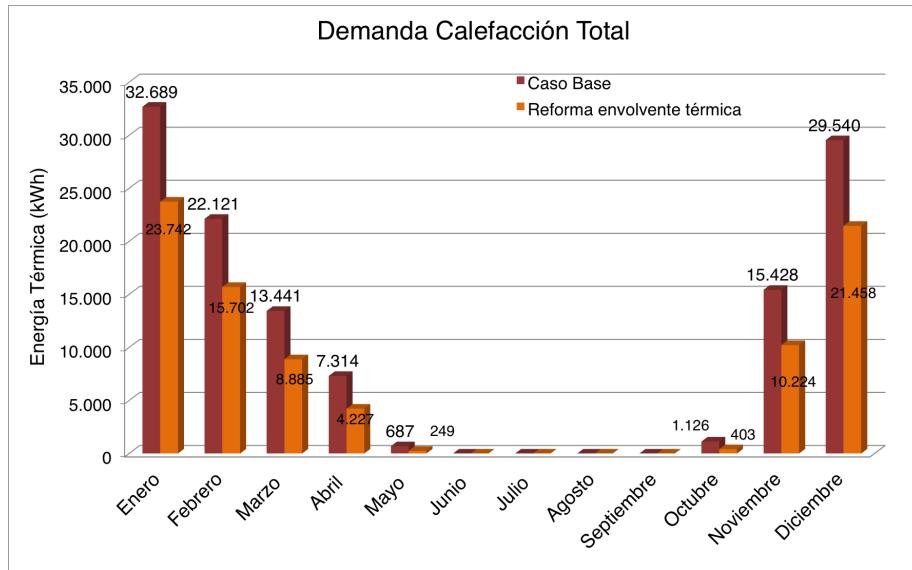


Figura 3.18: Demanda de calefacción total tras la mejora de la envolvente

En la figura 3.19 se representa la reducción de demanda de calefacción que se produce con la mejora de la envolvente térmica.

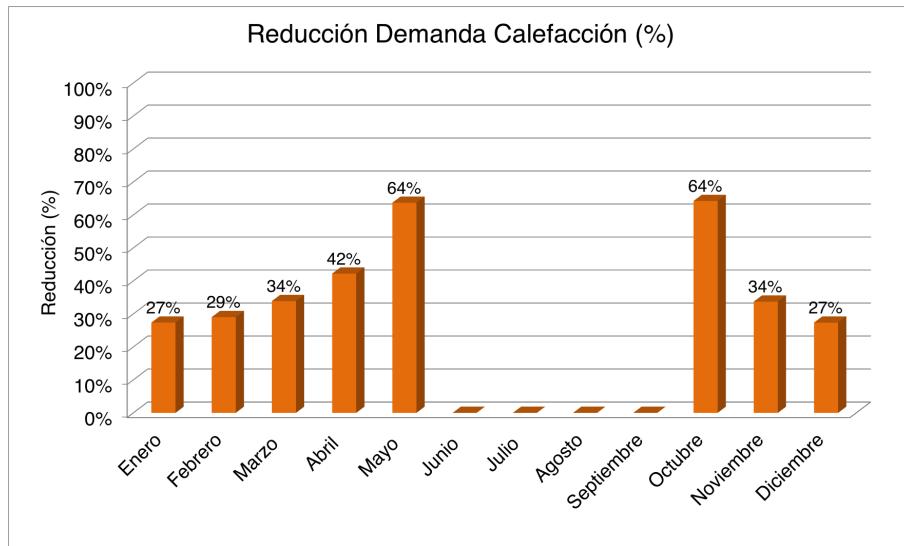


Figura 3.19: Reducción de la demanda de calefacción tras mejora envolvente

En la figura 3.20 se representan de forma global las demandas de refrigeración en cada mes del año en el caso del edificio con la envolvente original y con la envolvente mejorada. Se aprecia una leve reducción de la demanda de refrigeración en los meses de verano.

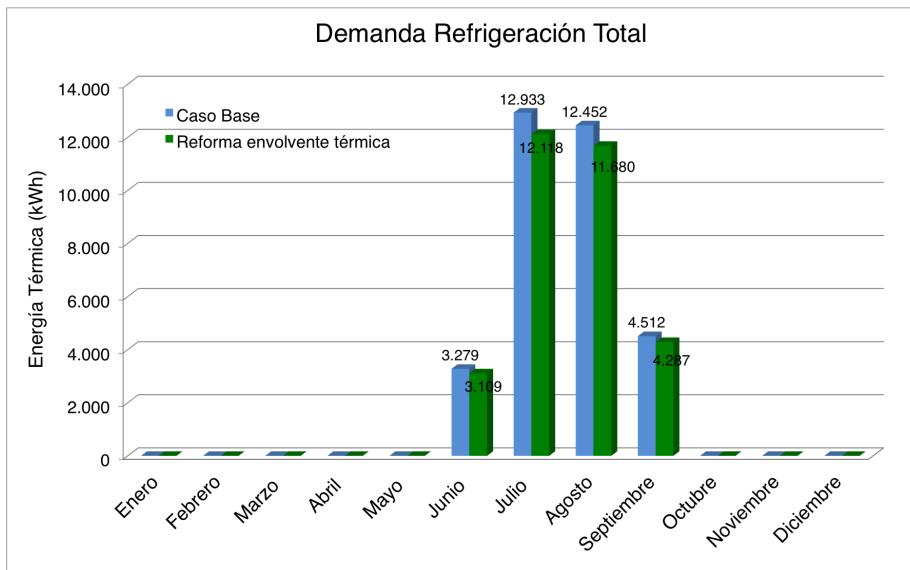


Figura 3.20: Demanda de refrigeración total tras la mejora de la envolvente

En la figura 3.21 se representa la reducción de demanda de refrigeración que se produce con la mejora de la envolvente térmica.

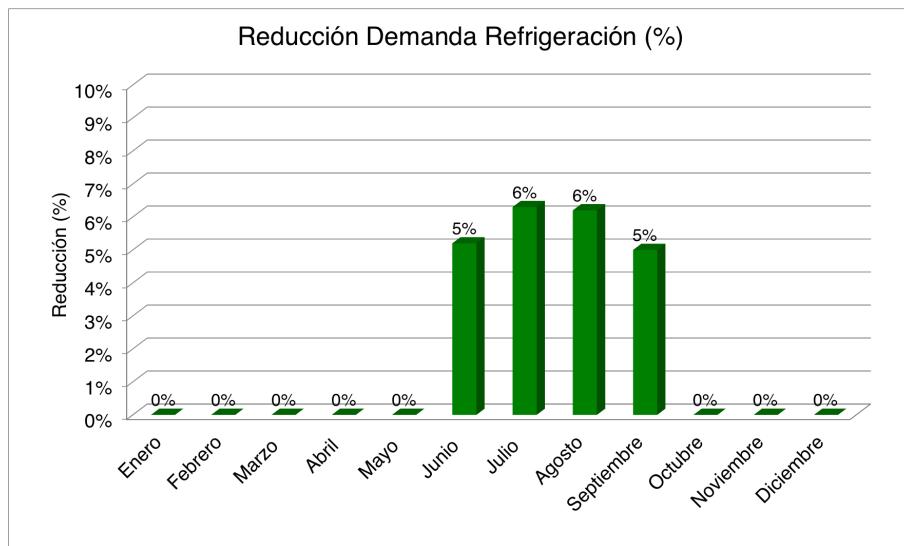


Figura 3.21: Reducción de la demanda de refrigeración tras mejora envolvente

En cuanto al consumo de energía primaria y energía final necesaria para suministrar la demanda térmica de calefacción y refrigeración con la instalación del caso base y las emisiones de CO_2 asociadas, se observa una reducción global, con una particularidad en refrigeración. (Figura 3.6).

A pesar de la reducción de demanda térmica de refrigeración, se producen aumentos del consumo de energía y emisiones de CO_2 asociados a la refrigeración. Esto es debido a que, si bien las necesidades de refrigeración de cada vivienda han sido reducidas mediante la reducción de la ganancia de calor a través de los cerramientos y los huecos, se ha perjudicado la capacidad del edificio de “disipar” el calor generado en el interior por los ocupantes y los equipos de iluminación.

ENERGÍA Y EMISIONES DE CO_2 . VARIACIÓN RESPECTO AL CASO BASE	
Demanda Calefacción	-33,4 %
Demanda Refrigeración	-6,4 %
Energía Final Calefacción	-25,3 %
Energía Final Refrigeración	3,9 %
Energía Final TOTAL	-19,7 %
Energía Primaria Calefacción	-29,3 %
Energía Primaria Refrigeración	3,9 %
Energía Primaria TOTAL	-22 %
Emisiones CO_2 Calefacción	-28,9 %
Emisiones CO_2 Refrigeración	4,3 %
Emisiones CO_2 TOTAL	-21,7 %

Tabla 3.6: Efecto sobre el consumo y emisiones de CO_2 de la mejora de la envolvente térmica

La demanda de calefacción normalizada se reduce notablemente respecto al caso base y se produce un aumento de la demanda de refrigeración normalizada respecto al caso base, pues pese a que se reduce la demanda térmica de refrigeración, la superficie útil se ve reducida. (Figura 3.22).

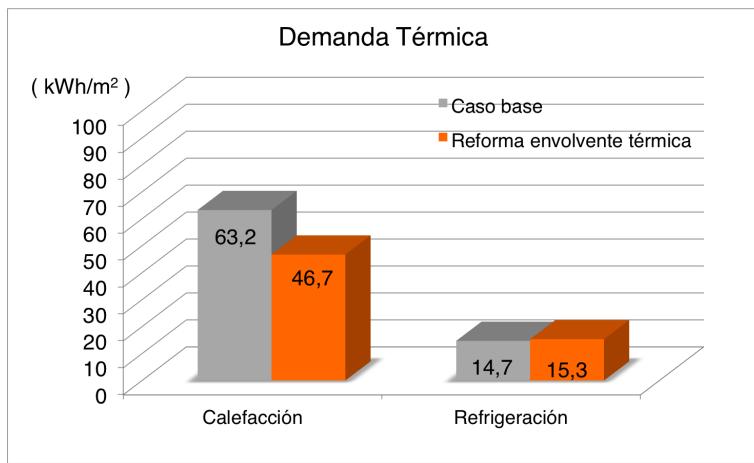


Figura 3.22: Efecto sobre la demanda térmica de la mejora de la envolvente

En las figuras 3.23, 3.24 y 3.25 se representan los consumos normalizados de Energía Final y Energía Primaria así como las Emisiones de CO_2 normalizadas asociadas, para la instalación de calefacción contemplada en proyecto, en el caso de la envolvente original y la mejorada.

Las conclusiones van en la misma línea, el indicador asociado a la calefacción se ve reducido, pero el indicador asociado a la refrigeración se ve aumentado, aunque es muy leve el aumento.

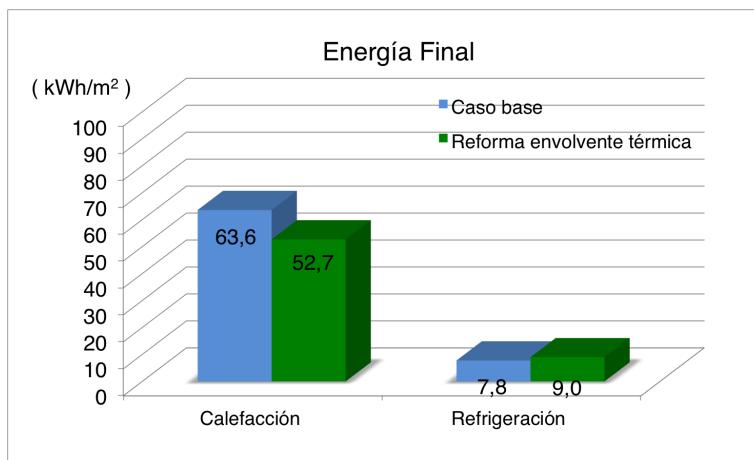


Figura 3.23: Consumo Energía Final normalizado tras mejora envolvente

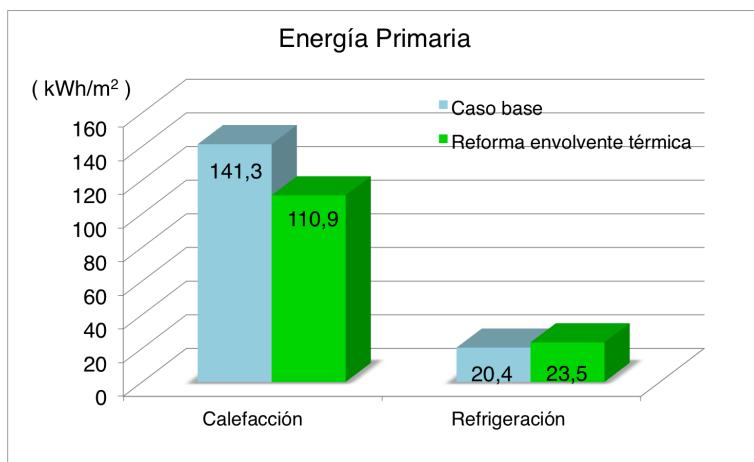


Figura 3.24: Consumo Energía Primaria normalizado tras mejora envolvente

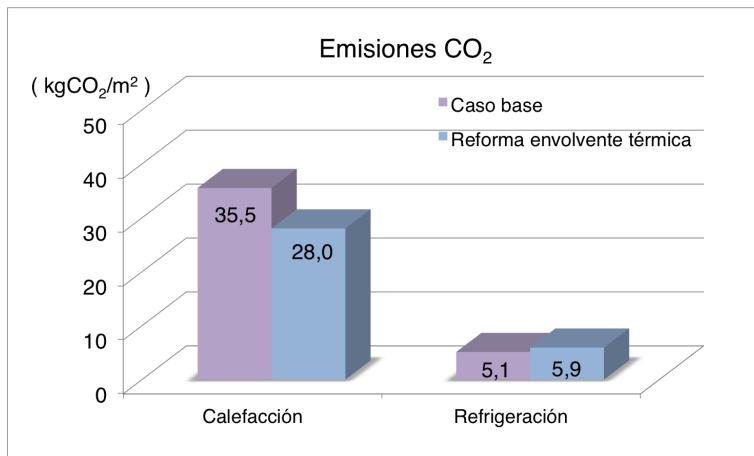


Figura 3.25: Emisiones de CO_2 tras mejora envolvente

La calificación para cada indicador energético en base a la figura 4.1 es la que se muestra en la tabla 3.7.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS		
INDICADOR ENERGÉTICO	CASO BASE	MEJORA ENVOLVENTE TÉRMICA
Demanda Calefacción	E	E
Demanda Refrigeración	C	C
Consumo Energía Primaria Calefacción	E	D
Consumo Energía Primaria Refrigeración	D	C
Consumo Energía Primaria ACS	G	G
Consumo Energía Primaria TOTAL	E	D
Emisiones CO_2 Calefacción	E	E
Emisiones CO_2 Refrigeración	D	D
Emisiones CO_2 ACS	G	G
Emisiones CO_2 TOTAL	E	E

Tabla 3.7: Clasificación de los indicadores energéticos con mejora de la envolvente térmica

En la tabla 3.8 se realiza una comparativa entre el edificio de partida y el edificio mejorado con la mejora de la envolvente térmica.

MEJORA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		
	EDIFICIO BASE	EDIFICIO MEJORA ENVOLVENTE
<i>Fuente principal de energía</i>	Electricidad	Electricidad
<i>Generación de calor</i>	Efecto “joule”	Efecto “joule”
<i>Sistema calefacción</i>	Radiador de aceite	Radiador de aceite
<i>Sistema ACS</i>	Termo eléctrico	Termo eléctrico
<i>Indicador de Emisiones (kgCO₂/m²)</i>	46,6	39,9
<i>Indicador de Energía Primaria (kWh/m²)</i>	184,5	157,2
<i>Calificación</i>	E	E

Tabla 3.8: Comparativa calificación energética con mejora de la envolvente térmica

Instalación de Aerotermia: Bomba de calor reversible y suelo radiante

Resultados

Energía y Emisiones de CO₂

Con el objetivo de cuantificar el grado de mejora alcanzado en la eficiencia energética del edificio, se comparan los principales indicadores energéticos del edificio objeto de estudio, obtenidos en el caso base, con los obtenidos para edificio que cuenta con la aerotermia implementada.

Lo primero que se observa es el efecto aislante que tiene el panel portatubos del suelo radiante. Se aprecia una ligera **reducción de las demandas térmicas en calefacción y refrigeración**. La reducción conseguida es del **6,9 %** para la demanda de calefacción, y del **0,7 %** para la demanda de refrigeración.

En las figuras 3.26 y 3.27 se muestran las demandas térmicas de calefacción y refrigeración para el edificio de partida y para el edificio con la mejora de aerotermia y suelo radiante implementada.

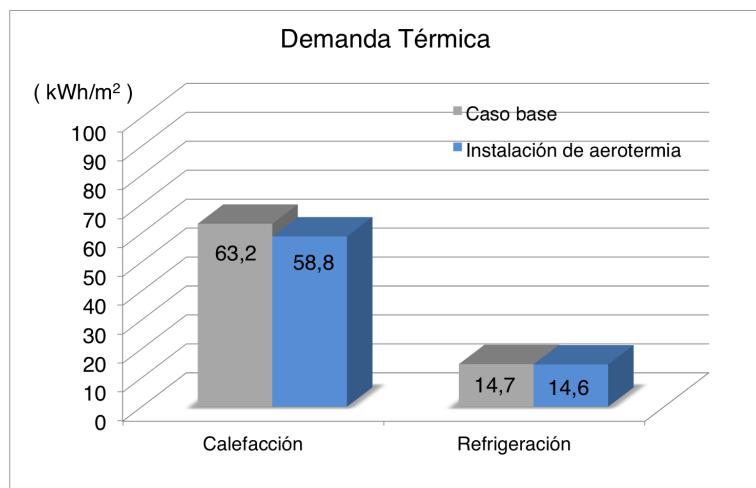


Figura 3.26: Demanda térmica normalizada por la sup. útil. Instalación aerotérmica

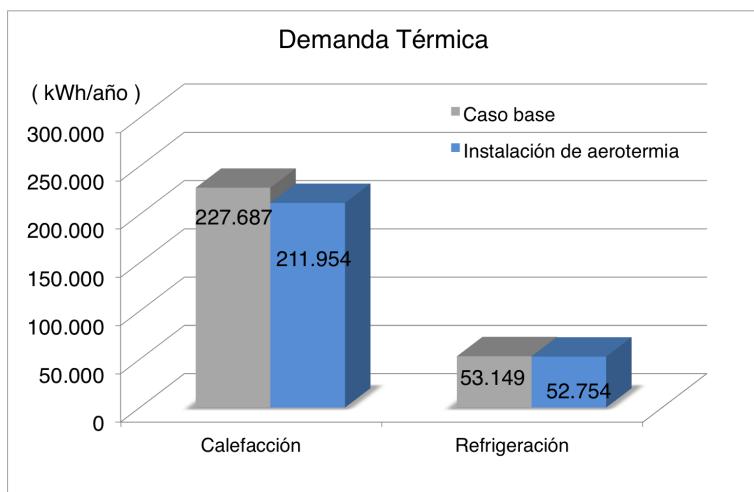


Figura 3.27: Demanda térmica total anual. Instalación aerotérmia

En cuanto al consumo de Energía Final, se aprecia una notable reducción. La reducción se produce en los servicios de calefacción y refrigeración, pues el sistema de generación de ACS sigue siendo el mismo que el del caso base. El consumo de **Energía Final Total** se reduce un **43 %**, siendo la reducción en calefacción del 51 % y en refrigeración del 28 %.

En las figuras 3.28 y 3.29 se representan los consumos de energía final para el edificio de partida y el edificio con la mejora implementada, para cada uno de los servicios energéticos, en bases anual y normalizados.

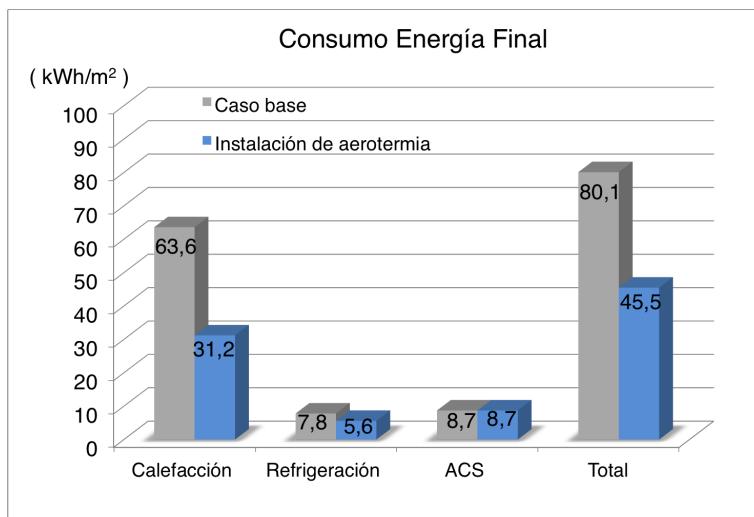


Figura 3.28: Consumo de Energía Final normalizado. Instalación aerotermia

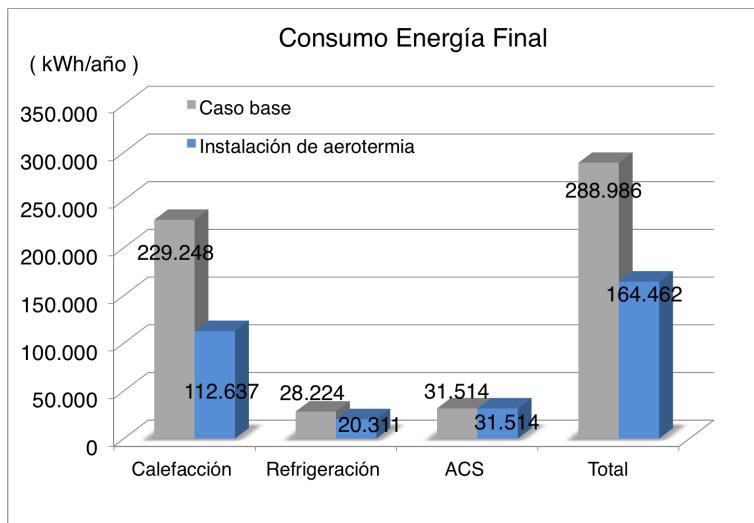


Figura 3.29: Consumo de Energía Final anual total. Instalación aerotermia

En lo que respecta al consumo de Energía Primaria, la reducción es aún mayor, debido al elevado rendimiento de la bomba de calor. El consumo de **Energía Primaria Total** se reduce un 48,5 %, siendo la reducción en calefacción del 59 % y en refrigeración del 28 %. Con lo cual queda demostrado la eficiencia energética del sistema de aerotermia.

En las figuras 3.30 y 3.31 se representan los consumos de energía final para el edificio de partida y el edificio con la mejora implementada, para cada uno de los servicios energéticos, en bases anual y normalizados.

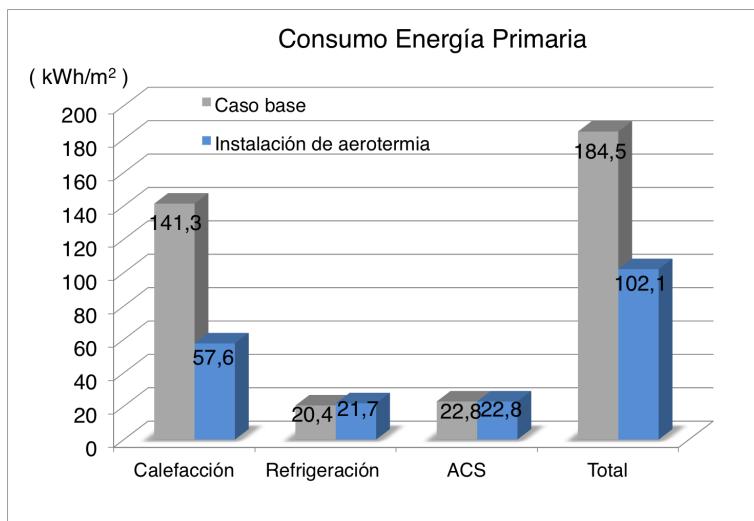


Figura 3.30: Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación aerotermia

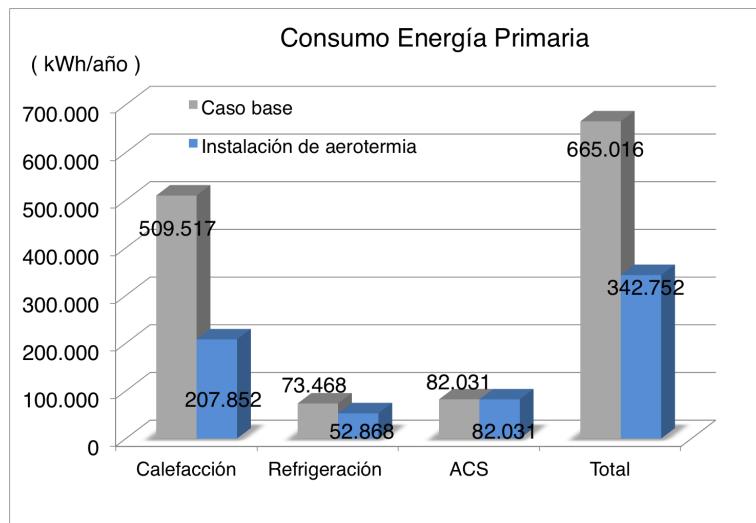


Figura 3.31: Consumo de Energía Primaria anual total. Instalación aerotermia

Por último, las Emisiones de CO_2 se ven también reducidas. La reducción de **Emisiones de CO_2** **Total** de es del **40 %**, lo que se traduce en evitar emitir a la atmósfera **80 toneladas de CO_2 al año**. La reducción de las emisiones de CO_2 asociadas al servicio de calefacción es del 59 % , y al servicio de refrigeración del 27 %, evitando la emisión de 75 y 5 toneladas de CO_2 respectivamente.

En las figuras 3.32 y 3.33 se representan los consumos de energía final para el edificio de partida y el edificio con la mejora implementada, para cada uno de los servicios energéticos, en bases anual y normalizados.

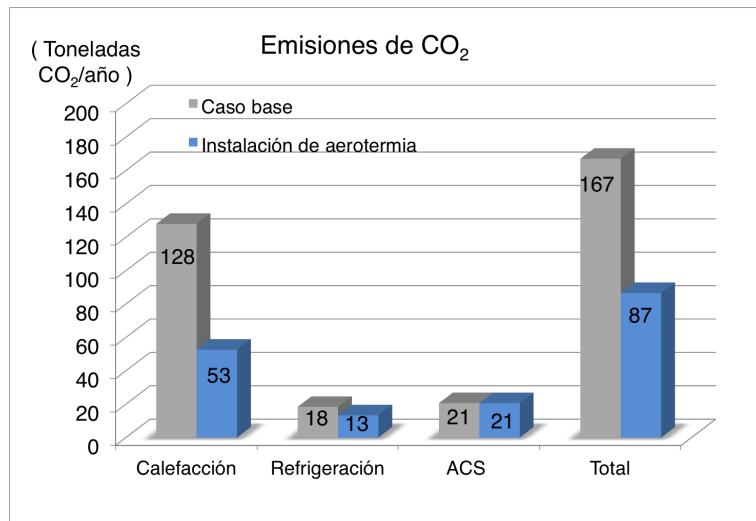


Figura 3.32: Emisiones de CO_2 normalizadas por la sup. útil. Instalacion aerotermia

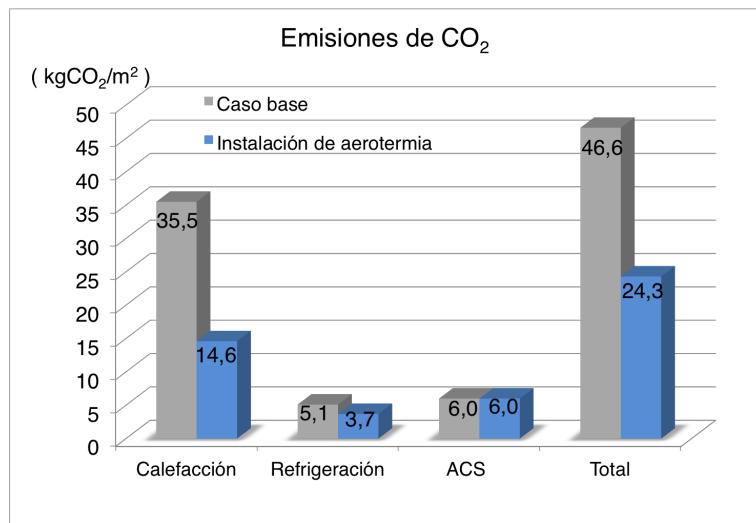


Figura 3.33: Emisiones de CO_2 anuales totales. Instalación aerotermia

En la tabla 3.9 se realiza una comparativa entre el edificio de partida y el edificio mejorado con la instalación de aerotermia.

MEJORA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		
	EDIFICIO BASE	EDIFICIO AEROTERMIA
<i>Fuente principal de energía</i>	Electricidad	Electricidad
<i>Principio generación de calor</i>	Efecto joule	Ciclo expansión/compresión
<i>Sistema calefacción</i>	Radiador de aceite	Suelo radiante
<i>Sistema ACS</i>	Termo eléctrico	Termo eléctrico
<i>Indicador de Emisiones (kgCO₂/m²)</i>	46,6	24,3
<i>Indicador de Energía Primaria (kWh/m²)</i>	184,5	102,1
<i>Calificación</i>	E	D

Tabla 3.9: Comparativa calificación energética con instalación de aerotermia

La calificación para cada indicador energético en base a la figura 4.1 es la que se muestra en la tabla 3.10.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS		
INDICADOR ENERGÉTICO	CASO BASE	AEROTERMIA
Demanda Calefacción	E	E
Demanda Refrigeración	C	C
Consumo Energía Primaria Calefacción	E	D
Consumo Energía Primaria Refrigeración	D	C
Consumo Energía Primaria ACS	G	G
Consumo Energía Primaria TOTAL	E	D
Emisiones CO_2 Calefacción	E	D
Emisiones CO_2 Refrigeración	D	C
Emisiones CO_2 ACS	G	G
Emisiones CO_2 TOTAL	E	D

Tabla 3.10: Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de aerotermia

Instalación de Biomasa: caldera de pellets y suelo radiante

Resultados

Energía y Emisiones de CO_2

La implementación de la instalación de biomasa en el edificio supone una mejora de la eficiencia energética del mismo, en cuanto a las emisiones de CO_2 y al consumo de Energía Primaria. La implementación del suelo radiante como sistema emisor de calefacción, dota al edificio de un mayor aislamiento térmico, lo que se traduce en una leve reducción de la demanda térmica.

En las figuras 3.34 y 3.35 se representan las demanda de calefacción y refrigeración para el caso del edificio de partida y para el caso del edificio con la instalación de biomasa implementada.

Al igual que en el caso de aerotermia, ya que se debe al suelo radiante, las **reducción de la demanda térmica** es del **6,9 % en calefacción** y del **0,8 % en refrigeración**.

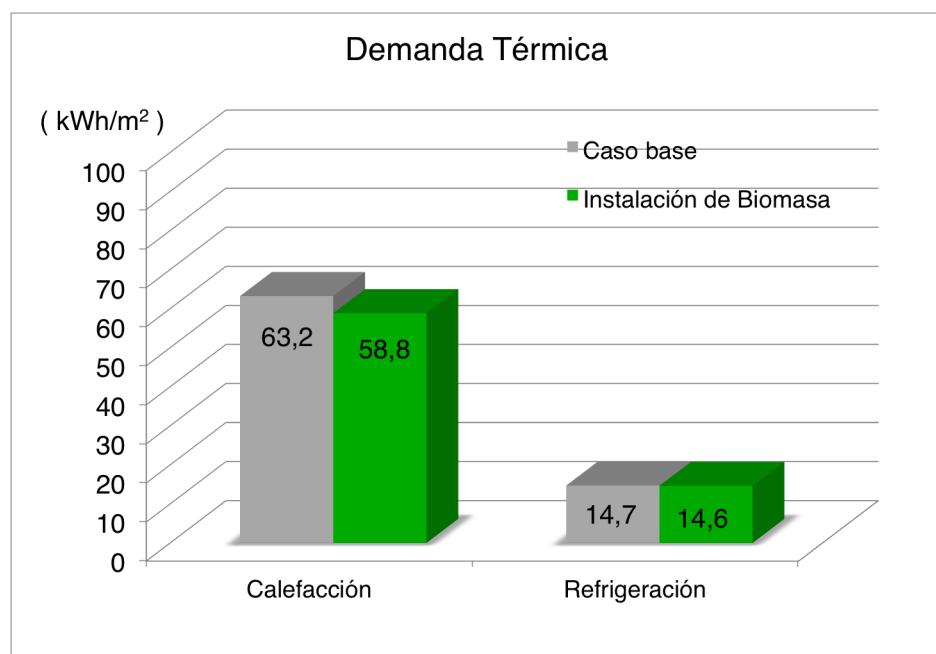


Figura 3.34: Demanda térmica normalizada. Instalación de biomasa

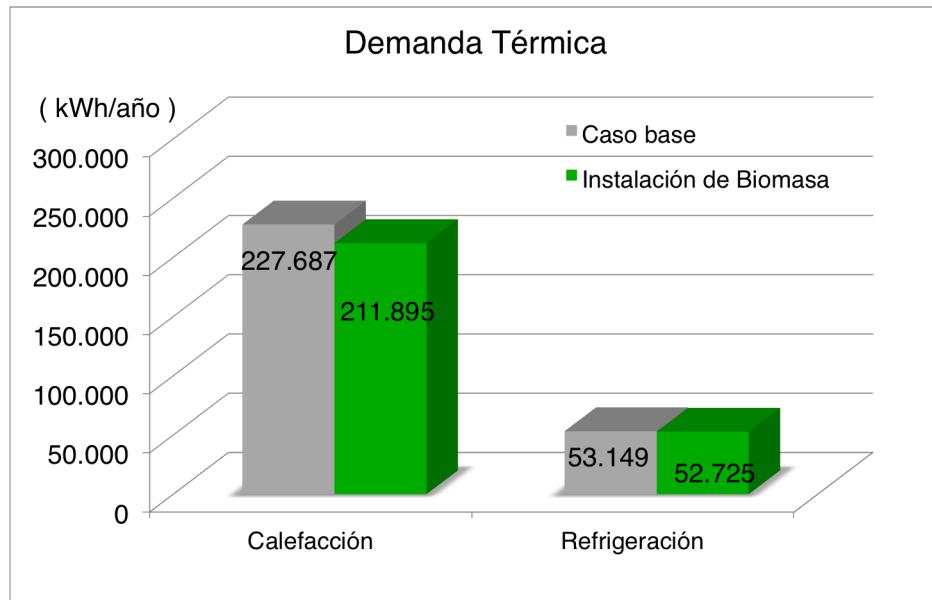


Figura 3.35: Demanda térmica anual. Instalación de biomasa

Se produce un aumento del consumo de Energía Final debido a los servicios de calefacción y ACS, esto es debido al hecho de utilizar pellets como combustible. El **aumento del consumo de Energía Final Total** es del **9 %**. En calefacción, el aumento del consumo supone un 10 % respecto del valor de partida, y en ACS, el aumento del consumo supone un 7,5 %, respecto del valor de partida.

Estos aumentos del consumo de Energía Final se verán compensados por la reducción de consumo de Energía Primaria. En las figuras 3.36 y 3.37 se representan los consumos de Energía Final para el edificio de partida y para el edificio con la instalación de biomasa, en bases anual y normalizado por la superficie útil.

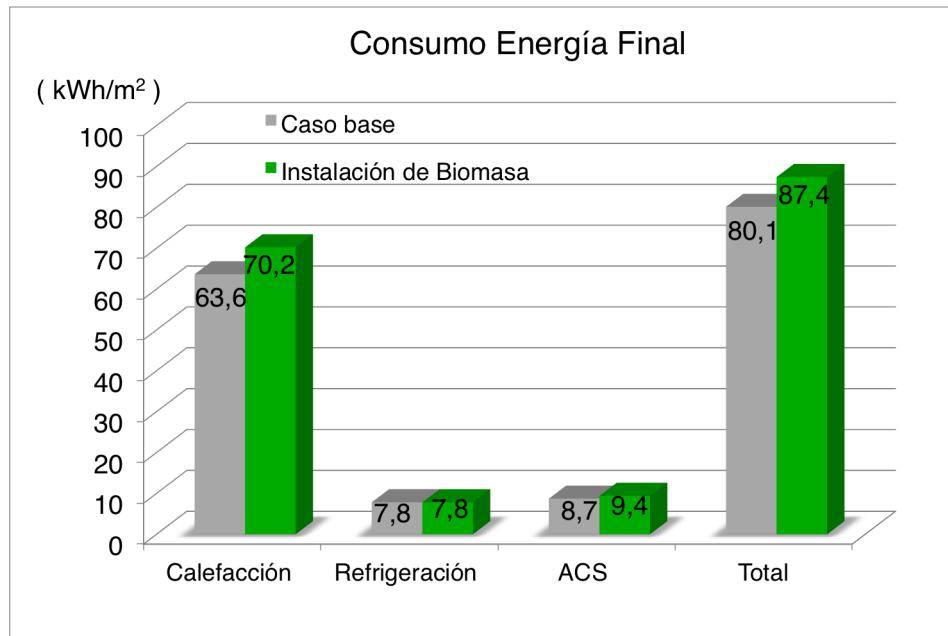


Figura 3.36: Consumo de Energía Final normalizado. Instalación de biomasa

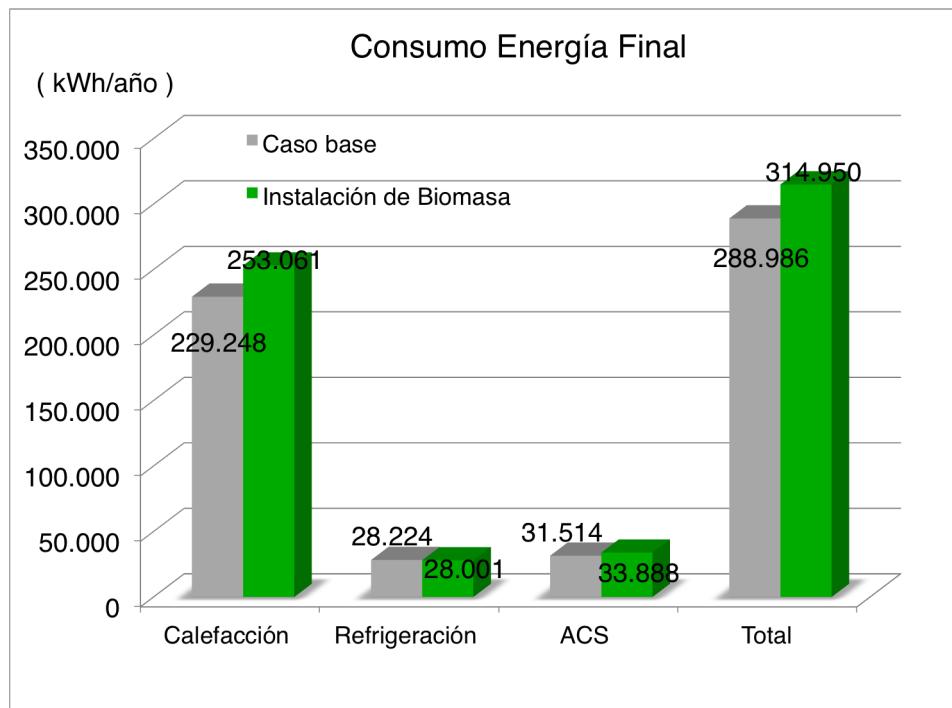


Figura 3.37: Consumo de Energía Final anual. Instalación de biomasa

Se produce una notable reducción del consumo de Energía Primaria, debido a la naturaleza del combustible (procesos de transformación, transporte y distribución). La **reducción de consumo de Energía Primaria Total** es del 45 %. Respecto de los valores de partida, la reducción en calefacción es del 49 %, y en ACS del 59 %.

En las figuras 3.38 y 3.39 se representan los consumos de Energía Primaria para cada uno de los casos de edificios estudiados.

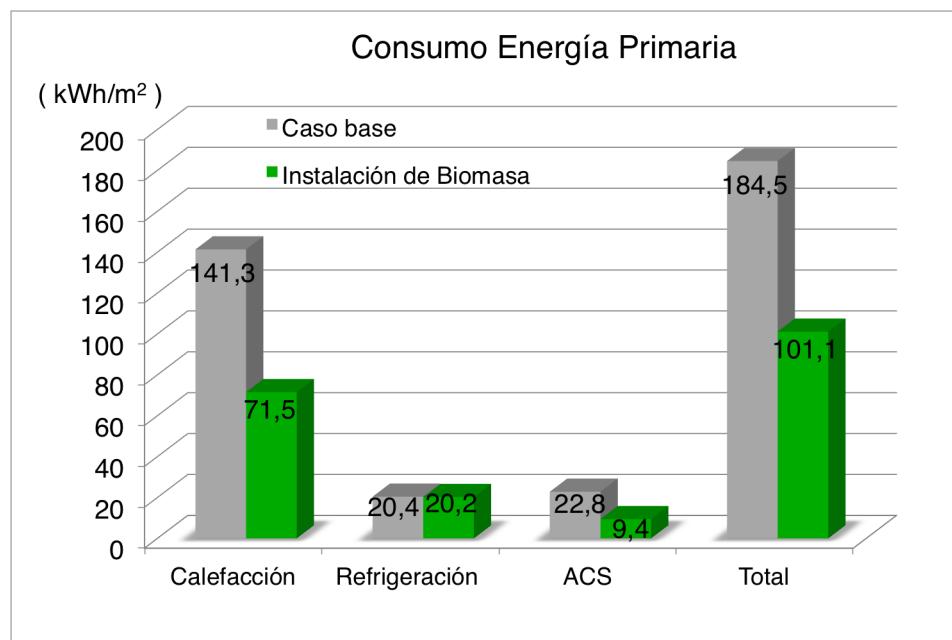


Figura 3.38: Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación de biomasa

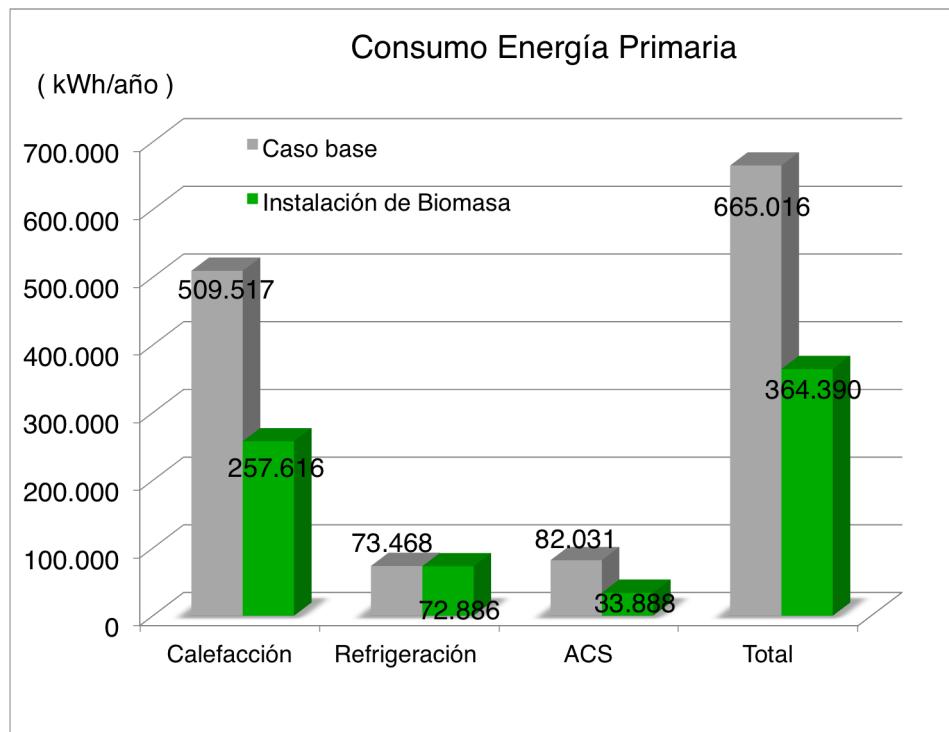


Figura 3.39: Consumo de Energía Primaria anual. Instalación de biomasa

En cuanto a las Emisiones de CO_2 , se produce una importante reducción, pasando el indicador principal de **46,6 kg CO_2/m^2** a **9,5 kg CO_2/m^2** , que repercutirá en una mejora notable de la calificación energética. La **reducción de Emisiones de CO_2 Total** es del **79%**. La reducción de emisiones en calefacción es del 87%, y en ACS es del 99%, siendo prácticamente nulas. Se evitan de esta forma la emisión anual de 133 toneladas métricas de CO_2 a la atmósfera.

En las figuras 3.40 y 3.41 se representan las Emisiones de CO_2 para cada uno de los edificios comparados, en base anual y normalizados por la superficie útil.

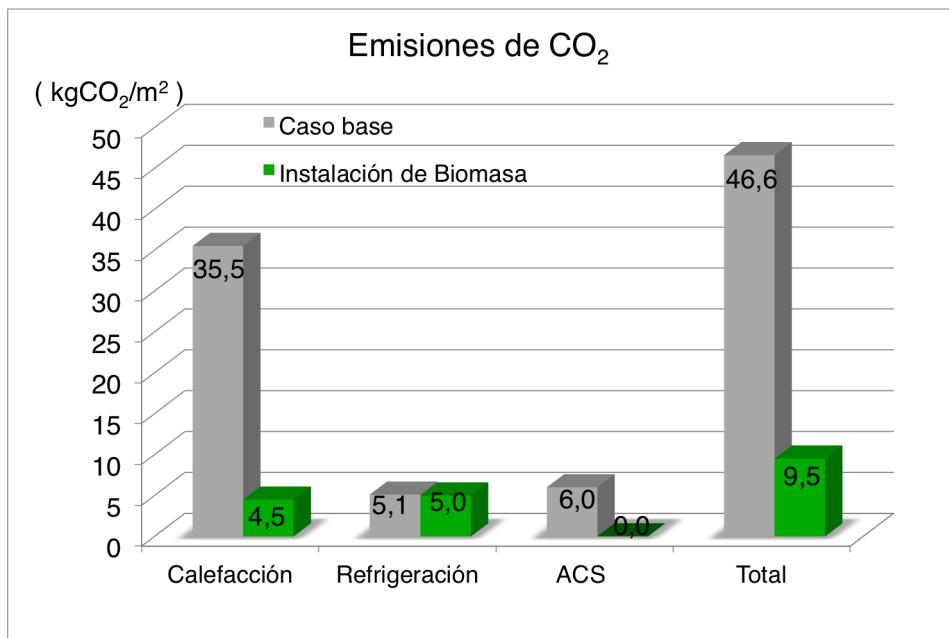


Figura 3.40: Emisiones de CO₂ normalizadas. Instalación de biomasa

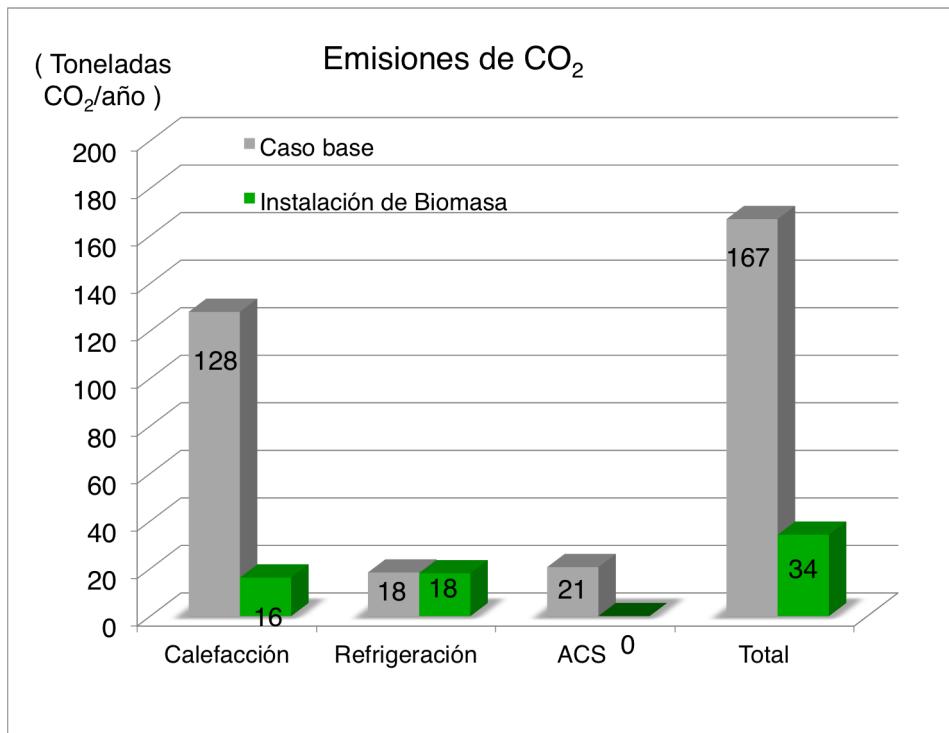


Figura 3.41: Emisiones de CO₂ anuales. Instalación de biomasa

En la tabla 3.11 se realiza una comparativa entre el edificio de partida y el edificio mejorado con la instalación de biomasa.

MEJORA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		
	EDIFICIO BASE	EDIFICIO BIOMASA
<i>Fuente principal de energía</i>	Electricidad	Pellets
<i>Generación de calor</i>	Efecto joule	Combustión de pellets
<i>Sistema calefacción</i>	Radiador de aceite	Suelo radiante
<i>Sistema ACS</i>	Termo eléctrico	Combustión de pellets
<i>Indicador de Emisiones (kgCO₂/m²)</i>	46,6	9,5
<i>Indicador de Energía Primaria (kWh/m²)</i>	184,5	101,1
<i>Calificación</i>	E	B

Tabla 3.11: Comparativa calificación energética con instalación de biomasa

La calificación para cada indicador energético en base a la figura 4.1 es la que se muestra en la tabla 3.12.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS		
INDICADOR ENERGÉTICO	CASO BASE	BIOMASA
Demanda Calefacción	E	E
Demanda Refrigeración	C	C
Consumo Energía Primaria Calefacción	E	D
Consumo Energía Primaria Refrigeración	D	D
Consumo Energía Primaria ACS	G	E
Consumo Energía Primaria TOTAL	E	D
Emisiones CO ₂ Calefacción	E	B
Emisiones CO ₂ Refrigeración	D	D
Emisiones CO ₂ ACS	G	A
Emisiones CO ₂ TOTAL	E	B

Tabla 3.12: Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de biomasa

Instalación de Gasóleo: caldera de baja temperatura y suelo radiante

Resultados

Energía y Emisiones de CO₂

Al implementar la propuesta de instalación de gasóleo en combinación con suelo radiante, se aprecian los siguientes efectos sobre el comportamiento energético del edificio.

Se produce una **reducción de la demanda térmica** en calefacción y refrigeración, debido al aislamiento térmico que proporciona el suelo radiante a las viviendas. La reducción de la demanda de **calefacción** es del **6,9 %**, y la reducción de la demanda de **refrigeración** del **0,8 %**.

En las figuras 3.42 y 3.43 se representan las demandas térmicas para el edificio con “calor azul” y el edificio con la instalación de gasóleo.

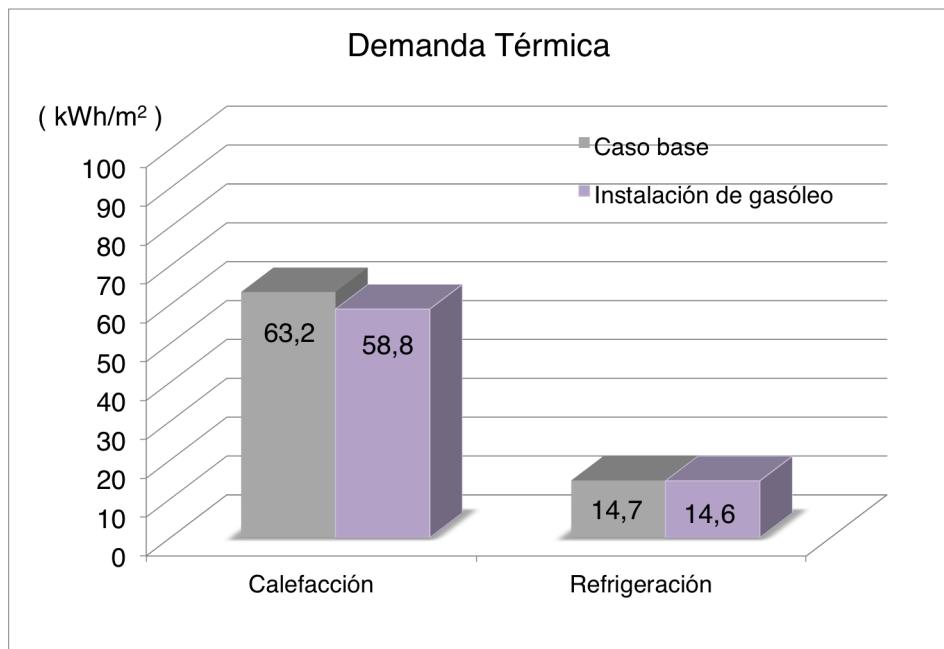


Figura 3.42: Demanda térmica normalizada. Instalación de gasóleo

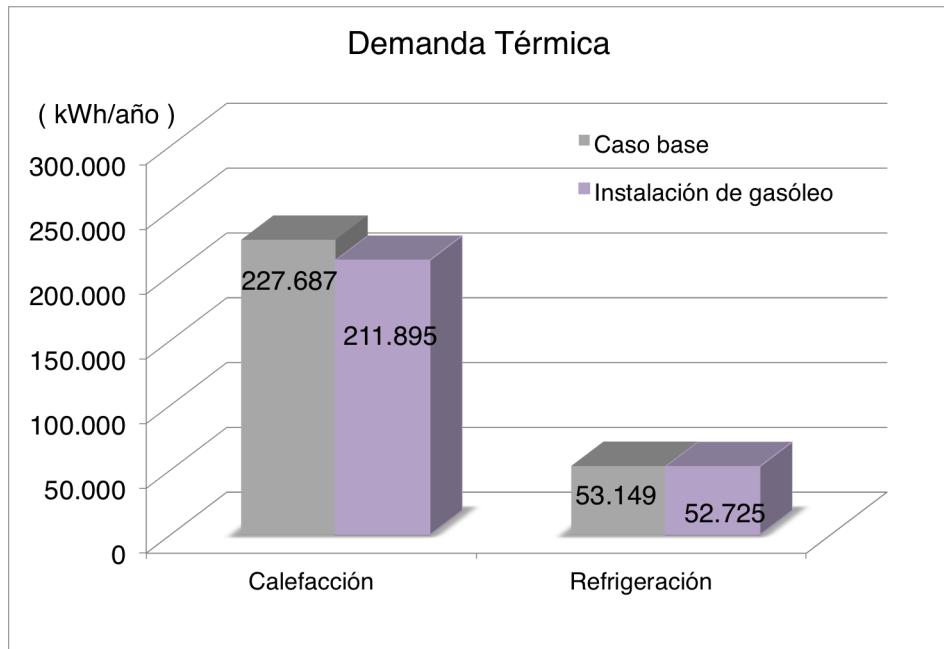


Figura 3.43: Demanda térmica anual. Instalación de gasóleo

El consumo de **Energía Final Total** disminuye levemente, un $3,1\%$. Estudiando los servicios por separado, se aprecia que en calefacción, el consumo de Energía Final se reduce en 4% , sin embargo, en ACS, se produce un aumento del consumo del $7,5\%$.

En las figuras 3.44 y 3.45 se representan los consumos de Energía Final para el edificio con calor azul y el edificio con la instalación de gasóleo.

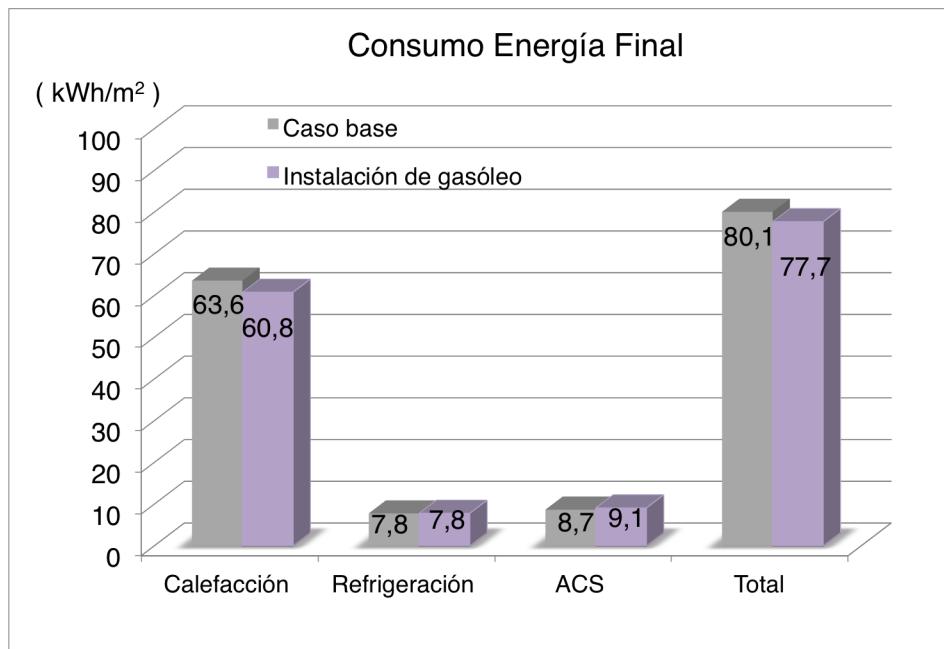


Figura 3.44: Consumo de Energía Final normalizado. Instalación de gasóleo

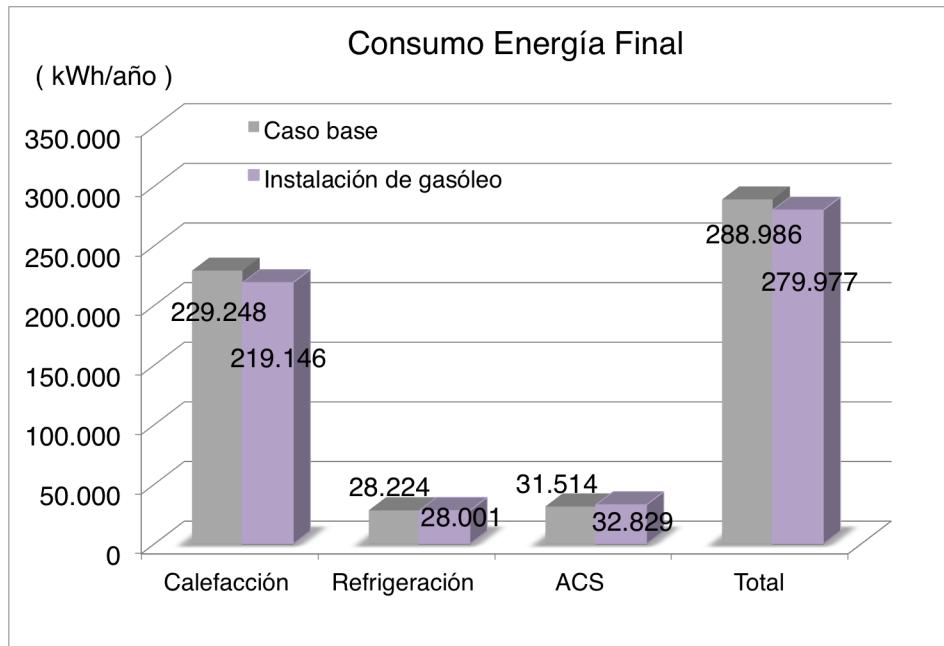


Figura 3.45: Consumo de Energía Final anual. Instalación de gasóleo

El consumo de **Energía Primaria Final Total** se reduce un **48 %**. Observando de forma individual los servicios energética, la reducción del consumo en calefacción es del 54 %, mientras que en agua caliente sanitaria, del 57 %.

En las figuras 3.46 y 3.47 se representan los consumos de Energía Primaria para el edificio con calor azul y el edificio con la instalación de gasóleo.

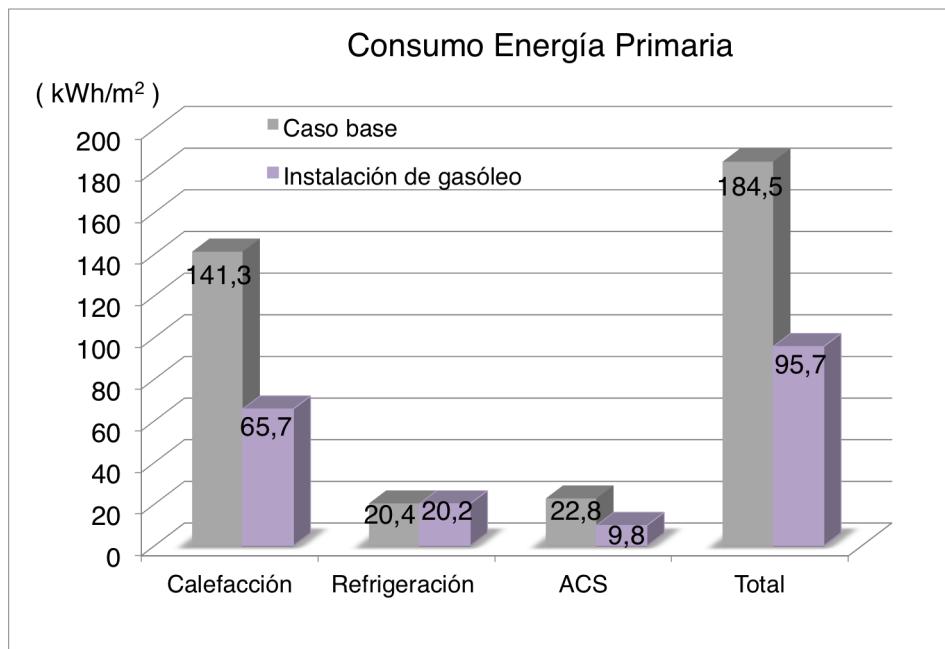


Figura 3.46: Consumo de Energía Primaria normalizado. Instalación de gasóleo

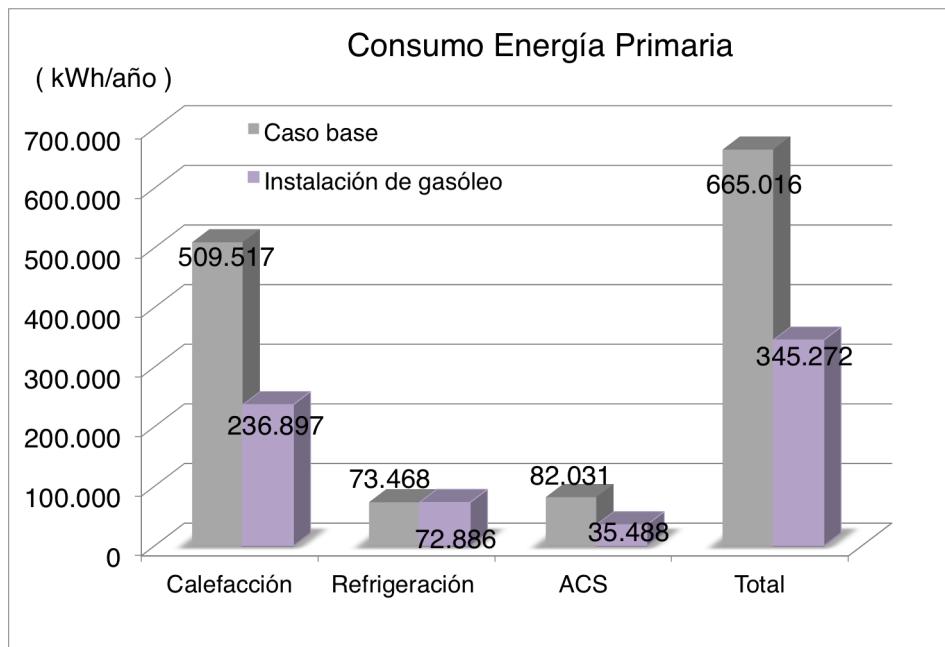


Figura 3.47: Consumo de Energía Primaria anual. Instalación de gasóleo

Estas reducciones de consumo energético responden a dos motivos:

1. El coeficiente de paso de Energía Primaria a Energía Final. Las autoridades competentes en materia de eficiencia energética, (IDAE y Ministerio de Industria, Energía y Turismo) establecen a través de la herramienta informática oficialmente reconocida, CALENER VYP, un coeficiente de paso para el gasóleo de $1,182 \text{ kWh}_p/\text{kWh}_f$, que resulta muy inferior, al establecido para la electricidad convencional nacional, que es $2,461 \text{ kWh}_p/\text{kWh}_f$. Estos coeficientes de paso vienen recogidos en el

documento oficial del IDAE [?].

2. El alto rendimiento de la caldera de baja temperatura a gasóleo en combinación con la instalación de suelo radiante.

En cuanto a las **Emisiones de CO_2 Totales**, se produce una **reducción del 46 %** de forma global. De forma individual, en calefacción la reducción es del 51 %, y en ACS, la reducción es del 55 %. Todo esto se traduce en evitar emitir a la atmósfera **77 toneladas de CO_2** al año.

En las figuras 3.48 y 3.49 se representan las Emisiones de CO_2 para el edificio con calor azul y el edificio con la instalación de gasóleo.

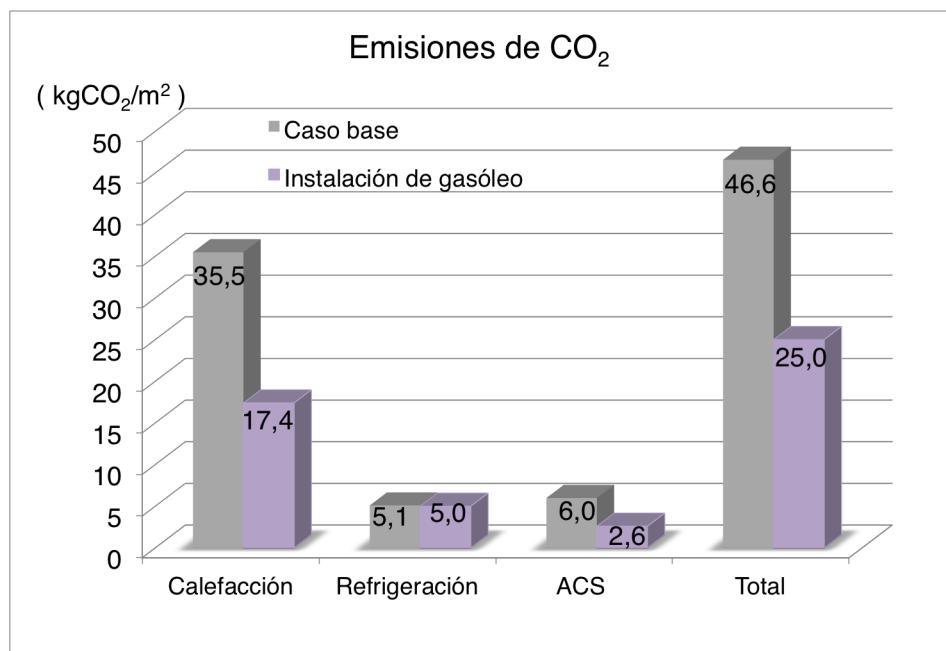


Figura 3.48: Emisiones de CO_2 normalizadas. Instalación de gasóleo

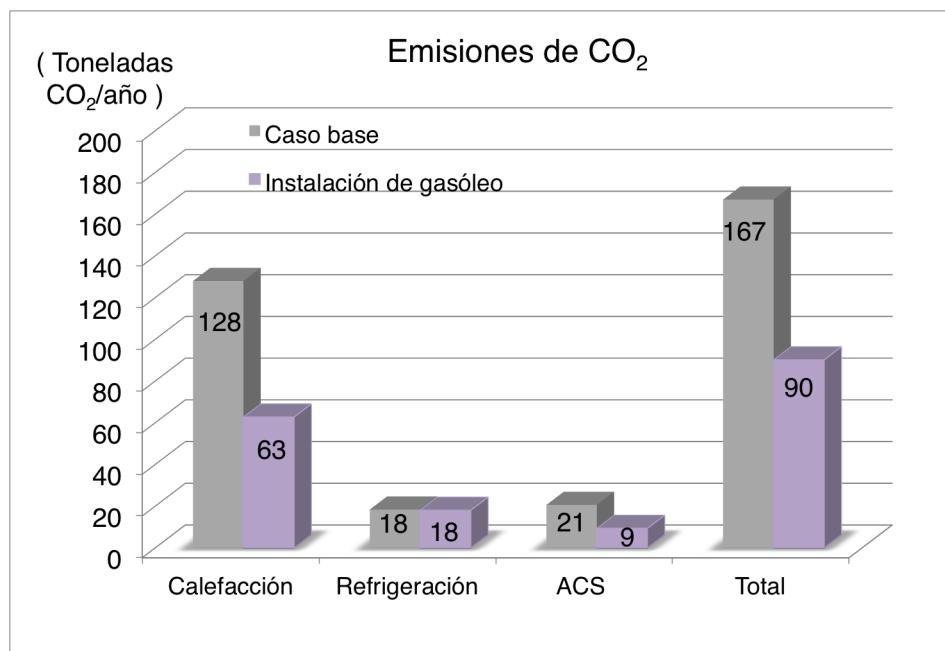


Figura 3.49: Emisiones de CO_2 anuales. Instalación de gasóleo

De nuevo, el motivo de esta drástica reducción de emisiones de CO_2 , cuando se está utilizando gasóleo como combustible, reside en los coeficientes de paso de Energía Primaria a Emisiones de CO_2 que establece la administración, a las diferentes fuentes energéticas, en la herramienta informática de simulación CALENER VYP.

El coeficiente de paso de emisiones establecido para el gasóleo es de $287 \text{ gr}CO_2/kWh_p$, mientras que el asignado para la electricidad convencional peninsular, es de $649 \text{ gr}CO_2/kWh_p$.

Estos coeficientes están recogidos en [?] y también aparecen en [?].

En la tabla 3.13 se realiza una comparativa entre el edificio de partida y el edificio mejorado con la instalación de gasóleo.

MEJORA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA		
	EDIFICIO BASE	EDIFICIO GASÓLEO
<i>Fuente principal de energía</i>	Electricidad	Gasóleo
<i>Generación de calor</i>	Efecto joule	Combustión de gasóleo
<i>Sistema calefacción</i>	Radiador de aceite	Suelo radiante
<i>Sistema ACS</i>	Termo eléctrico	Combustión de gasóleo
<i>Indicador de Emisiones (kgCO₂/m²)</i>	46,6	25,0
<i>Indicador de Energía Primaria (kWh/m²)</i>	184,5	95,7
<i>Calificación</i>	E	D

Tabla 3.13: Comparativa calificación energética con instalación de gasóleo

La calificación para cada indicador energético en base a la figura 4.1 es la que se muestra en la tabla 3.14.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS		
INDICADOR ENERGÉTICO	CASO BASE	MEJORA GASÓLEO
Demanda Calefacción	E	E
Demanda Refrigeración	C	C
Consumo Energía Primaria Calefacción	E	D
Consumo Energía Primaria Refrigeración	D	D
Consumo Energía Primaria ACS	G	E
Consumo Energía Primaria TOTAL	E	D
Emisiones CO_2 Calefacción	E	D
Emisiones CO_2 Refrigeración	D	D
Emisiones CO_2 ACS	G	E
Emisiones CO_2 TOTAL	E	D

Tabla 3.14: Clasificación de los indicadores energéticos con instalación de gasóleo

Capítulo 4

Propuestas de mejora de la eficiencia energética

4.1. Introducción

En este capítulo, se proponen una serie de mejoras principales encaminadas a aumentar la eficiencia energética del edificio, de acuerdo con los resultados obtenidos en el *Capítulo 2*. Estas mejoras constituyen las soluciones adoptadas actualmente tanto en rehabilitación energética, como en viviendas de nueva construcción. En nivel de desarrollo de las soluciones adoptadas es de ingeniería básica.

Se diseñan e implementan las soluciones propuestas en el edificio, mediante el software CYPE CAD MEP, para, posteriormente realizar una simulación energética a través de las herramientas informáticas CALENER VYP y Energy Plus, obteniendo la demanda térmica de calefacción y refrigeración, los consumos de Energía Primaria, Energía Final y Emisiones de CO_2 asociadas, así como la calificación de eficiencia energética, de acuerdo con la normativa vigente.

Cada mejora propuesta se compara con el edificio original, analizado en el *Capítulo 2*, es decir el edificio con las características definidas en su proyecto de ejecución: envolvente térmica original, sistema de calefacción basado en radiadores eléctricos de aceite (“calor azul”) y sistema de generación de ACS mediante termo eléctrico. A este edificio se le denomina “caso base”.

Los resultados energéticos se recopilan en el *Anexo ??* mientras que el análisis de la viabilidad económica de cada mejora propuesta se aborda en el *Anexo ??*

4.2. Instalación solar térmica para ACS

Criterios de diseño

El diseño de esta instalación se ha regido por el DB HE del CTE aprobado en 2006 [?], según el cual, para un edificio donde la fuente energética de apoyo sea de electricidad (efecto Joule), ubicado en la zona climática IV (Toledo) y con un consumo total en el intervalo 50-5000 *litros/día*, el porcentaje mínimo a cubrir es del 60 % de las necesidades de ACS anuales. Al tratarse de un edificio de viviendas multifamiliar la demanda de referencia por persona es de 28 litros a 60 °C.

El cálculo del número de personas por viviendas se realiza en función del número de dormitorios, siendo: 1,5 personas para 1 dormitorio, 3 personas para 2 dormitorios y 4 personas para 3 dormitorios, resultando un total de 103 personas. Por tanto, la demanda diaria de ACS a una temperatura de referencia de 60 °C es de 2.884 litros/día y persona

El equipo auxiliar, en este caso, un termoacumulador eléctrico con producción instantánea, estará dimensionado para dar la potencia máxima en las condiciones más desfavorables, que se producen en días en los que la radiación es prácticamente nula o en días en los que se realice mantenimiento de la instalación solar térmica

Solución adoptada

Se propone una instalación de captación solar térmica para producción (ACS), ubicada en la cubierta del edificio, mediante superposición, con acumulación centralizada, mediante interacumulador y producción auxiliar de tipo individual mediante termoacumulador eléctrico (termo).

La instalación consta de un circuito principal, que será el formado por el sistema de captación, que consiste en dos grupos de captación, uno para cada portal del edificio, superpuestos en cubierta, mediante estructura metálica de carriles normalizados HILTI. En total la instalación consta de 5 baterías formadas por 4 captadores cada una de ellas.

El 1º grupo de capadores está compuesto por 2 baterías de 4 capadores cada una, proporcionando suministro al portal 1, el 2º grupo compuesto por 3 baterías de 4 captadores, que darán suministro al portal 2. En total la instalación dispondrá de 20 captadores SAUNIER DUVAL modelo “SRV” con una superficie de captación total de 45,64 m^2 .

La inclinación y la orientación del sistema de captación, serán el de la cubierta, 18°, SO (224°), respectivamente. Las perdidas por orientación e inclinación suponen un 12,18 % y por sombras un 0,15 %, siendo el total de pérdidas del 12,32 %. La conexión de las baterías de capadores de un mismo grupo se realizará mediante la técnica del retorno invertido.

La cobertura anual de ACS mediante la instalación de captación solar diseñada es del 74 % de las necesidades energéticas de ACS de todo el edificio, siendo de 72 % para el portal 1, y de un 77 % por lo cual se cumplen los requisitos mínimos de cobertura establecidos por la normativa de aplicación.

El sistema de acumulación, estará centralizado en un cuarto habilitado para tal uso, localizado en el garaje del edificio. El sistema de acumulación constituye tanto el circuito secundario como el circuito de consumo, al no existir intercambiador de placas, ya que la solución adoptada es la de dos interacumuladores con serpentín, de acero vitrificado JUNKERS, de capacidades 1.500 y 1.650 litros, que darán suministro de ACS a los portales 1 y 2 respectivamente.

El sistema contará con las respectivas bombas de impulsión para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, así como de vasos de expansión, purgadores y sistemas de prevención de sobrecalentamiento y heladas.

La conexión entre el sistema de captación y el de acumulación se realizará mediante un sistema de tuberías montantes, de cobre rígido, con aislamiento térmico mediante coquilla de lana de vidrio, instalado en el patio interior nº3, fijado mecánicamente por el exterior. La distribución del ACS se realizará mediante un sistema de tuberías de cobre rígido con aislamiento térmico mediante boquilla de lana de vidrio. El sistema de distribución será pues de tipo “columna”, haciendo llegar el ACS a cada planta y distribuyendo posteriormente a cada vivienda, tendiendo las tuberías por el falso techo.

El sistema de generación de ACS auxiliar será de tipo individual mediante termoacumulador eléctrico JUNKERS, modelo “Elacell Smart” con capacidades de 100, 75 y 50 litros para las viviendas de 3, 2 y

1 dormitorios respectivamente. En combinación con este dispositivo se instalará un kit solar del mismo fabricante, compuesto por una válvula mezcladora, que, dependiendo de si la temperatura proveniente del sistema de acumulación solar, es mayor o menor de la temperatura de consigna, actuará ó no sobre el generador auxiliar, calentando el agua ó mezclandola con el agua fría de red.

Calificación Energética

El indicador principal para obtener la calificación energética, es el correspondiente a las emisiones de CO_2 normalizadas por la superficie útil de la vivienda en periodo anual. Teniendo en cuenta esto y a partir de los límites de la escala de calificación de cada indicador energético, se puede comparar las emisiones de CO_2 totales, obtenidas mediante simulación energética vía CALENER VYP, con los límites de la escala de la figura 4.1.

Resumen de límites entre clases para viviendas en bloques en Toledo			
Demanda Calefacción [kWh/m ²]		Demanda refrigeración [kWh/m ²]	
A	≤ 25,62	A	≤ 6,93
B	25,63	B	6,94
C	29,37	C	11,35
D	34,73	D	17,65
E	42,76	E	27,10
F	106,21	F	33,41
G	115,86	G	41,12
Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ²]		Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ²]	
A	≤ 3,59	A	≤ 1,72
B	3,60	B	1,73
C	6,89	C	2,83
D	11,57	D	4,40
E	18,60	E	6,75
F	41,21	F	8,21
G	48,08	G	10,10
Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ²]		Emisiones totales [kgCO ₂ /m ²]	
A	≤ 0,997	A	≤ 6,08
B	1,01	B	6,09
C	1,18	C	10,74
D	1,42	D	17,34
E	1,79	E	27,28
F	4,91	F	54,31
G	5,73	G	61,39
Consumo E.P calefacción [kWh/m ²]		Consumo E.P refrigeración [kWh/m ²]	
A	≤ 16,27	A	≤ 7,08
B	16,28	B	7,09
C	31,14	C	11,59
D	52,37	D	18,02
E	84,20	E	27,67
F	183,61	F	34,11
G	214,21	G	41,98
Consumo E.P ACS [kWh/m ²]		Consumo E.P total [kWh/m ²]	
A	≤ 4,12	A	≤ 26,69
B	4,13	B	26,70
C	4,83	C	47,05
D	5,84	D	76,12
E	7,35	E	119,73
F	20,11	F	237,81
G	21,94	G	268,83

Figura 4.1: Límites de calificación energética para cada indicador en Toledo

La mejora propuesta no consigue mejorar la calificación energética, pues el límite para pasar de la clase E a la clase D es **28 kgCO₂/m²** y el obtenido con la mejora propuesta es de **42 kgCO₂/m²**.

Para este caso en particular, no se consigue mejorar la calificación energética, ni en el caso de cubrir el 100 % del consumo de ACS.

La etiqueta de eficiencia energética será entonces la de la figura 4.2, cuya calificación energética es una **E**.

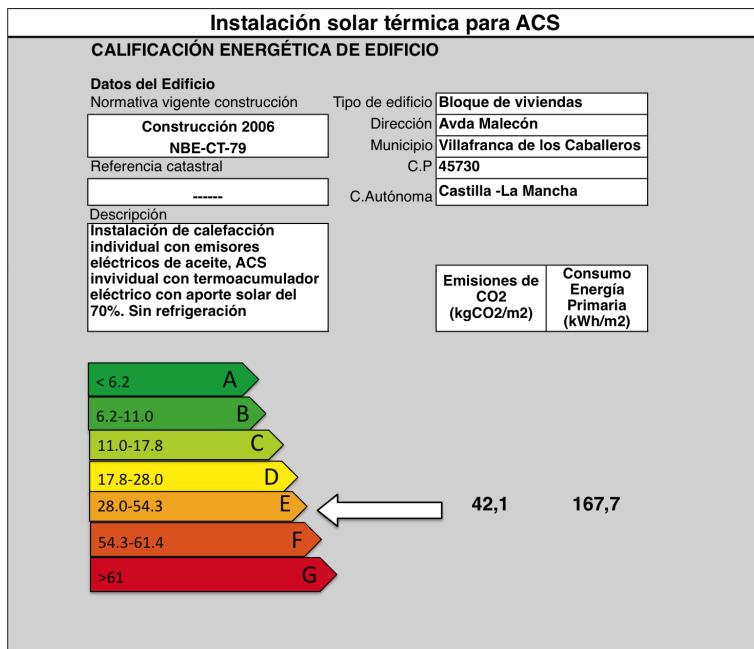


Figura 4.2: Etiqueta de Eficiencia Energética con instalación solar ACS

Coste de adquisición de la mejora propuesta

La evaluación económica de la mejora propuesta tiene en cuenta, el coste de implementar la mejora y el ahorro económico asociado a la reducción de consumo energético. Se parte del presupuesto de ejecución material de la instalación, obtenido mediante, el programa de mediciones y presupuestos de CYPE, *Arquímidés*. El presupuesto de ejecución material se detallan en el Anexo ??.

En la tabla 4.1 se muestran los costes de ejecución y mantenimiento anual: total y por vivienda, de la instalación solar térmica para ACS propuesta.

CONCEPTO	IMPORTE	FRACCIÓN
IMPORTE DE EJECUCIÓN		
<i>Instalación solar térmica ACS</i>	57.027 €	100 %
Captación solar	16.576 €	29 %
Regulación y control	1.794 €	3 %
Fontanería	25.693 €	45 %
Acumulación	12.964 €	23 %
IMPORTE DE MANTENIMIENTO ANUAL		
<i>Instalación solar térmica ACS</i>	1.862 €	100 %
Captadores solares	1.260 €	68 %
Regulación y control	19 €	1 %
Fontanería	311 €	17 %
Acumulación	272 €	15 %
IMPORTE MEDIO POR VIVIENDA		
Ejecución instalación	1.677 €	3 %
Mantenimiento instalación	55 €	3 %

Tabla 4.1: Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación solar térmica para ACS

Financiación de la mejora

Se tiene en cuenta el programa PAREER (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales) del IDAE. Los resultados del cálculo de la financiación se muestran en la tabla 4.2. El desarrollo de la obtención de los parámetros de financiación se encuentra adjunto en el *Anexo ??*.

FINANCIACIÓN PAREER INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		
Principal del préstamo	27.164 €	48 %
Fondos propios	29.863 €	52 %
Cuota amortización anual	2.345€	8 %

Tabla 4.2: Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación solar térmica

Ahorro económico con la mejora

Con la implantación de la mejora de instalación solar térmica para ACS, se obtiene un ahorro económico anual, resultante de la reducción del consumo de electricidad para ACS, valorado en el año de partida. En la figura 4.3, se refleja este ahorro.

GASTO ANUAL EN ELECTRICIDAD PARA ACS	
Gasto en electricidad. Edificio caso base	7.572 €
Gasto en electricidad. Edificio con ACS solar	2.219 €
Ahorro económico	5.353 €

Tabla 4.3: Coste económico antes y después de implementar la instalación solar térmica para ACS

En la figura 4.3 se representan el gasto en electricidad destinada a la generación de ACS, en el caso del edificio de caso base, (con termo eléctrico), y del edificio con la instalación solar térmica para ACS.

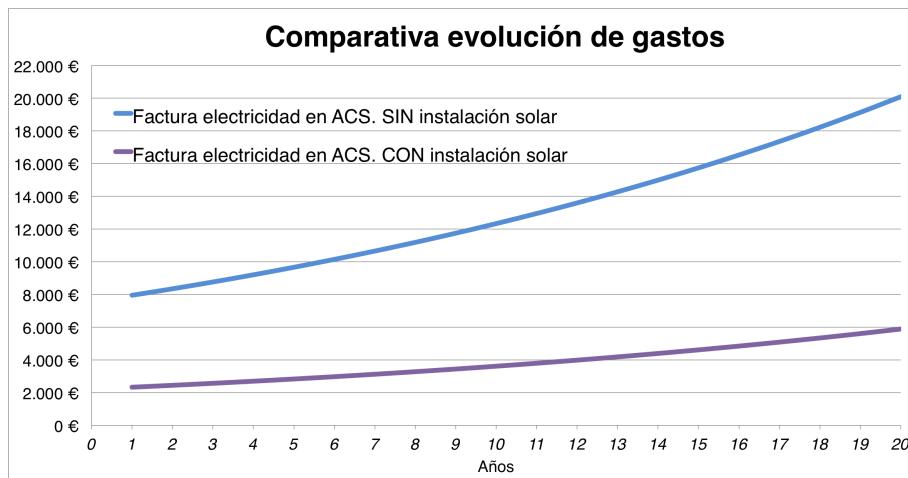


Figura 4.3: Evolución de las costes en electricidad para ACS del edificio del caso base y el edificio con la instalación de captación solar

Conclusiones de la mejora propuesta

- No se consigue mejorar la calificación de eficiencia energética. La calificación de eficiencia energética obtenida con la mejora propuesta es una **E**
- Se obtiene un ahorro económico anual en electricidad para ACS, valorado en el año ‘cero’ de **5.353 €**.

- Se obtiene una reducción del consumo en Energía Final asociada al ACS del **74 %**.
- La reducción del consumo de Energía Final Total es del **8 %**
- Se obtiene una reducción del consumo en Energía Primaria asociada al ACS del **74 %**.
- La reducción de Energía Primaria Total es del **9 %**
- Se evita emitir a la atmósfera **15 toneladas de CO₂** al año, siendo la reducción total de emisiones del **9 %**
- La inversión en la instalación solar para generación de ACS resulta viable, recuperando la inversión en el periodo de vida útil y produciendo un ahorro económico importante.

4.3. Mejora de la envolvente térmica

Introducción

Dado que una de las principales causas de la baja calificación energética obtenida para el edificio objeto de estudio reside en la envolvente térmica, se decide llevar a cabo una mejora de esta, mediante la adición de material aislante haciendo uso de las técnicas y materiales que se emplean actualmente en obra nueva y rehabilitación energética. El objetivo que se persigue con la realización de esta mejora de la envolvente térmica, es la reducción de la demanda energética y como consecuencia, el cumplimiento de la exigencia sobre la limitación de la demanda energética, establecido en la sección HE-1 del CTE de 2006 [?]. De esta forma se cumplen los requisitos para poder acceder al **Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales (PAREER)**, al igual que se hizo en el apartado 4.2.

Criterios de diseño

La mejora de la envolvente térmica consiste en reducir el valor de transmitancia térmica de cada uno de los elementos que componen la envolvente térmica, mediante la adición de material aislante, de forma que el flujo de calor a través de los elementos de la envolvente se vea reducido. Para lograr esto se emplean los materiales y soluciones constructivas, de aplicación actual en obra nueva y rehabilitación, tomando como referencia, el Catálogo de elementos constructivos del CTE [?].

La solución mas conveniente desde el punto de vista técnico-económico se obtiene, escogiendo un conjunto de soluciones constructivas, y realizando una simulación dinámica del edificio con cada una de ellas, obteniendo los valores de demanda térmica de calefacción y refrigeración. Finalmente se escoge la solución con la mejor relación coste/ahorro energético.

Solución adoptada

1. **Mejora de fachada** mediante el sistema ROCKWOOL de aislamiento termoacústico y trasdosado autoportante, colocado en cerramientos de fachada, formado por el trasdosado, con placa de yeso laminado de 15 mm de espesor atornillada directamente a una estructura autoportante arriostrada; aislamiento con panel semirrígido de lana de roca volcánica “Rockcalm” de espesor 60 mm y conductividad térmica 0,035 W/mK colocado entre los montantes de la estructura portante.(Figura 4.4)

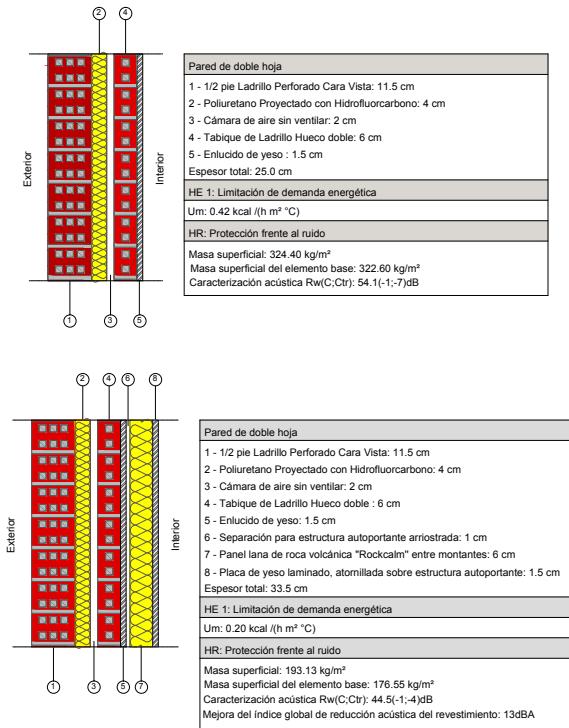


Figura 4.4: Cerramientos de fachada antes y después de la actuación

Esta actuación supone una reducción de la transmitancia térmica de muros de viviendas del **52 %** y un aumento del espesor del muro de fachada de **8,5 cm**.

$$U_M = 0,42 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U'_M = 0,20 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. **Mejora de particiones interiores** en contacto con espacios no habitables mediante el sistema ROCKWOOL de aislamiento termoacústico y trasdosado directo, colocado en particiones interiores y por el interior de cerramientos verticales, formado por placas de yeso laminado de 10 mm de espesor, "Labelrock", con aislamiento de lana de roca, de 30 mm de espesor, y conductividad térmica 0,034 W/mK, incorporado a la placa, recibida con pasta de agarre sobre el paramento vertical.(Figura 4.5)

4.3. MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

79

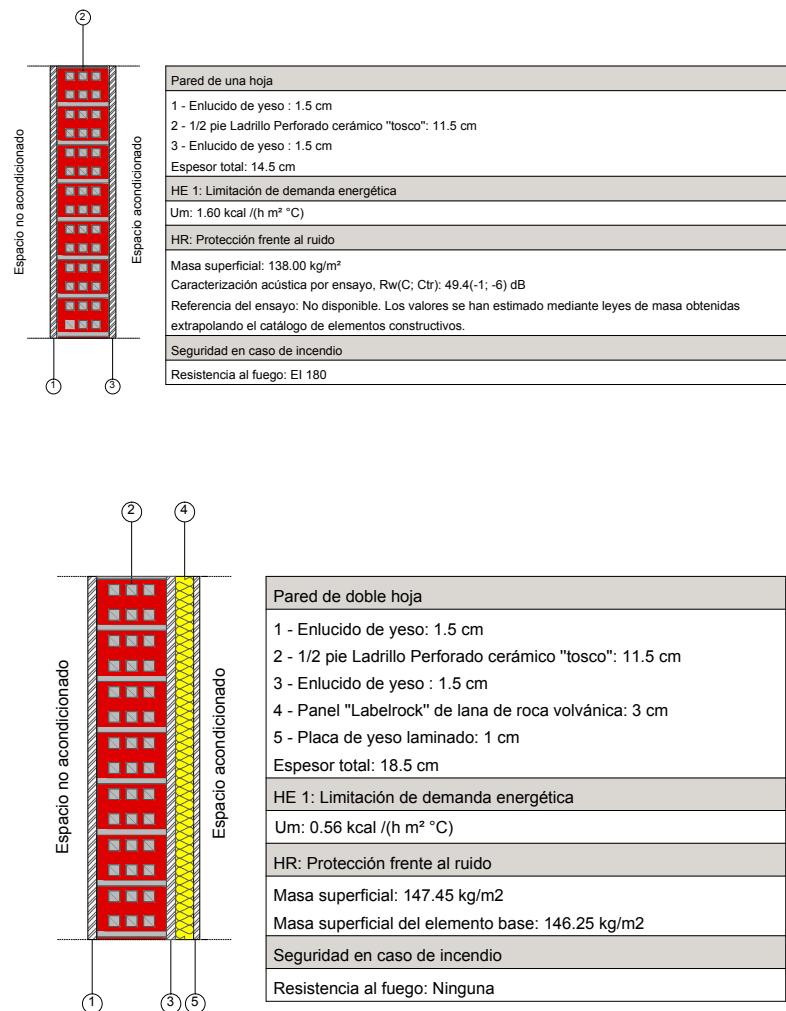


Figura 4.5: Separación de viviendas con espacios no acondicionados antes y después de la actuación

Esta solución supone una reducción de la transmitancia térmica de particiones interiores de viviendas del **65 %** y un aumento del espesor de la partición de **5 cm**.

$$U_M = 1,60 \text{ kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U'_M = 0,56 \text{ kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Mejora del solados en viviendas con la parte inferior expuesta al exterior o a un espacio no habitable, mediante un suelo flotante con sistema KNAUF INSULATION de aislamiento térmico por la cara superior del forjado, formado por panel rígido de poliestireno extruído "Polyfoam" de espesor 60 mm y conductividad térmica 0,034 W/mK. (Figura ??)

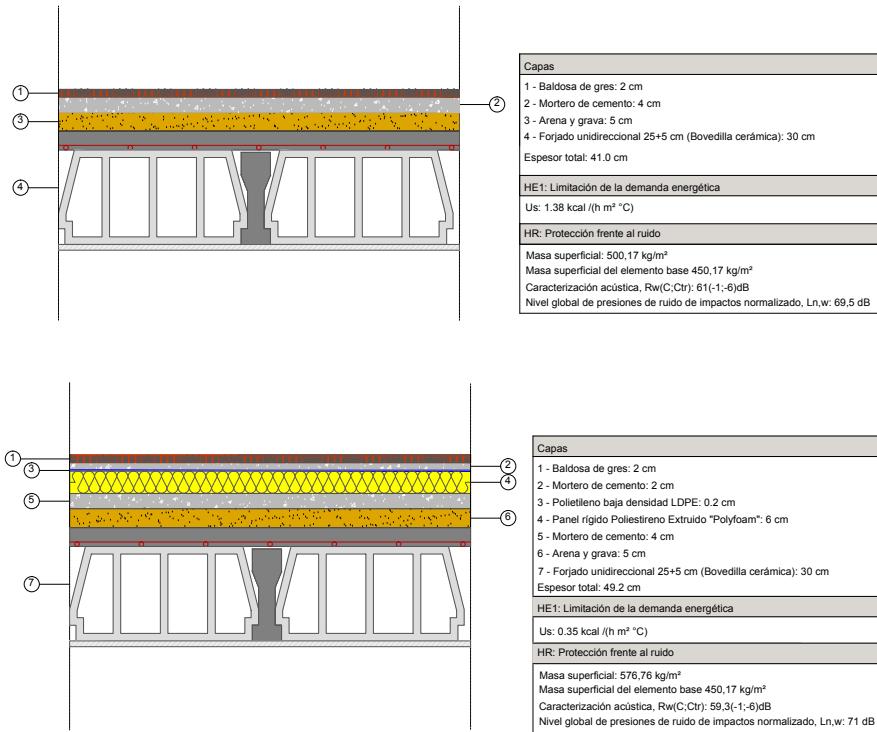


Figura 4.6: Solado antes y después de la actuación

La reducción de la transmitancia térmica en suelos es de un **74 %**, y supone aumentar la cota del suelo **8,2 cm**.

$$U_S = 1,38 \text{ kcal}/hm^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U'_S = 0,35 \text{ kcal}/hm^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. **Mejora de huecos** en fachada mediante un doble acristalamiento de baja emisividad térmica UNION VIDRIERA ARAGONESA, 6/12/6, color verde, con calzos y sellado continuo, con carpintería de PVC (seguirá siendo la contemplada inicialmente en el proyecto de ejecución, pues tiene buenas prestaciones térmicas). (Figura 4.7)

4.3. MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

81

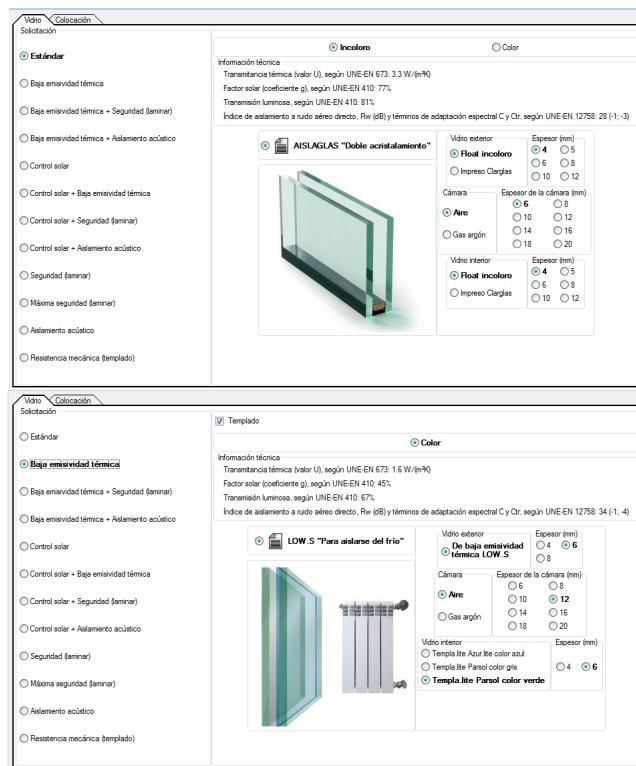


Figura 4.7: Acristalamiento huecos antes y después de la actuación

En la tabla 4.4 se reflejan las características de los huecos en fachada antes y después de la mejora.

PROPIEDADES TÉRMICAS HUECOS							
		Transmitancia térmica			Factor solar		
Carpintería	Vidrio	U_{Vidrio}	$U_{Carpintería}$	U_{Hueco}	f_{Vidrio}	$f_{Carpintería}$	f_{Hueco}
PVC	4/6/4	2,15	1,12	1,68	0,47	0,04	0,28
PVC	6/12/6	1,38	1,12	1,22	0,45	0,04	0,26

Tabla 4.4: Propiedades térmicas de las huecos

Esta actuación supone una mejora de la transmitancia térmica en huecos del **25 %**:

$$U_H = 1,68 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U'_H = 1,26 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

y una reducción del factor solar del **7 %**:

$$f_H = 0,28 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$f'_H = 0,26 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Esto se traduce en una reducción de las pérdidas por transmisión de calor desde el interior al exterior en invierno, y un aumento de la protección frente a la radiación solar en verano.

Calificación Energética

A pesar de la reducción de la demanda energética, no se consigue mejorar la calificación de eficiencia energética, pues ésta, tiene en cuenta las emisiones de CO_2 como indicador principal.

La reducción de demanda térmica no es lo suficientemente grande como para disminuir en gran magnitud los consumos energéticos y por tanto las emisiones de CO_2 asociadas.

Esto es debido a la penalización del uso de energía eléctrica, ya que el IDAE y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través de la herramienta informática CALENER VYP, asocia un factor de conversión de Energía Primaria a Energía Final ($2,61\text{ kWh}_P/\text{kWh}_F$) y un coeficiente de paso de Energía Primaria a Emisiones de CO_2 (649 gr CO_2/kWh) muy desfavorables para la electricidad, que es en este caso la fuente energética utilizada.

Estos coeficientes están recogidos en el documento elaborado por el IDAE y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [?].

Por lo tanto, una mejora de la envolvente térmica debería ir acompañada de sistemas de climatización de alta eficiencia energética, para poder obtener una buena calificación energética.

En conclusión, la calificación energética será una **E**, el valor del indicador de emisiones de CO_2 normalizadas total, es de **39,9 kg CO_2/m^2** , que está por encima del límite entre las clases D y E, **28,0 kg CO_2/m^2** . (Figura 4.8).

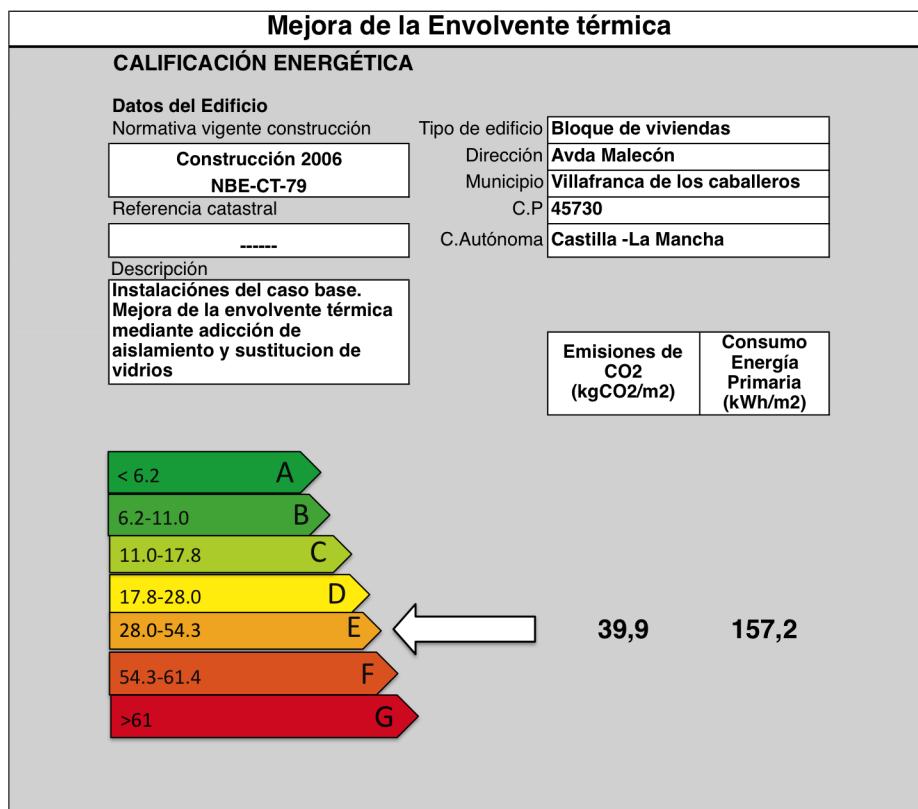


Figura 4.8: Etiqueta de Eficiencia Energética con mejora de la envolvente térmica

Coste de la mejora propuesta

En la tabla 4.5 se muestran los costes de ejecución y mantenimiento anual: total y por vivienda, de la mejora de la envolvente térmica

CONCEPTO	IMPORTE	FRACCIÓN
IMPORTE DE EJECUCIÓN		
<i>Mejora de la envolvente térmica</i>	201.411 €	100 %
Fachadas	50.825 €	25 %
Particiones interiores	19.458 €	10 %
Vidrios	40.839 €	20 %
Suelos	90.288 €	45 %
IMPORTE DE MANTENIMIENTO ANUAL		
<i>Mejora de la envolvente térmica</i>	1.798 €	100 %
Fachadas	1.009 €	56 %
Particiones interiores	37 €	2 %
Vidrios	358 €	20 %
Suelos	395 €	22 %
IMPORTE MEDIO POR VIVIENDA		
Ejecución instalación	5.924 €	3 %
Mantenimiento instalación	53 €	3 %

Tabla 4.5: Costes de ejecución y mantenimiento de la mejora de la envolvente térmica

Financiación de la mejora

Se tiene en cuenta el programa PAREER (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales) del IDAE. Los resultados del cálculo de la financiación, para los 4 posibles casos, se muestran en la tabla 4.6

FINANCIACIÓN PAREER. MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA				
Escenario	Ayuda	Préstamo	Amortización	Fondos propios
Ayuda + Préstamo	60.423 €(30 %)	84.592 €(42 %)	7.304 €/año	56.395 €(28 %)
Sólo Ayuda	60.423 €(30 %)			140.987 €(70 %)
Sólo Préstamo		120.846 €(60 %)	10.434 €/año	80.564 €(40 %)
No hay financiación				201.411 €(100 %)

Tabla 4.6: Posibilidades de financiación de la mejora de la envolvente térmica

Ahorro económico de la mejora

Con la implantación de la mejora de la envolvente térmica, se obtiene un ahorro económico anual, resultante de la reducción del consumo de electricidad para calefacción, valorado en el año de partida. En la figura 4.7, se refleja este ahorro.

GASTO ANUAL EN ELECTRICIDAD PARA CALEFACCIÓN	
Edificio con envolvente térmica original	32.623 €
Edificio con envolvente térmica mejorada	24.452 €
Ahorro económico	8.171 €

Tabla 4.7: Ahorro económico tras implementar la mejora de la envolvente térmica

En la figura 4.9 se representan el gasto en electricidad destinada a calefacción, durante los primeros 20 años, en el caso del edificio con la envolvente original, y del edificio con la envolvente mejorada.

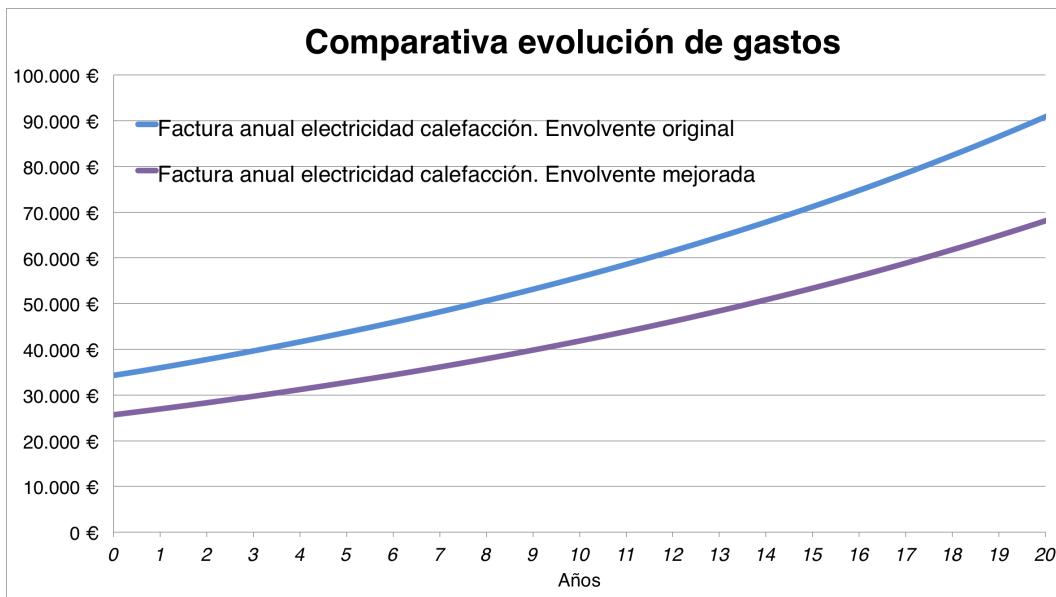


Figura 4.9: Evolución de gastos anuales en electricidad para calefacción del edificio del caso base y el edificio con la envolvente mejorada

Conclusiones de la mejora propuesta

- Se obtiene un ahorro económico anual de **8.171 €**, que supone una reducción del **25 %** de la factura energética en calefacción.
- No se consigue mejorar la calificación de eficiencia energética, debido a que la instalación de calefacción sigue siendo la del caso base, basada en electricidad. Por tanto la calificación de eficiencia energética sigue siendo una **E**.
- La carga térmica de calefacción total se reduce un **36 %**.
- La carga térmica de refrigeración total se reduce un **11 %**.
- La superficie útil en viviendas total se reduce un **2,3 %**
- La demanda de calefacción se reduce un **33 %**.
- El indicador de demanda de calefacción pasa de **63,2 kWh/m²** a **46,7 kWh/m²**
- La demanda de refrigeración se reduce un **6 %**.
- El indicador de demanda de refrigeración pasa de **14,7 kWh/m²** a **15,3 kWh/m²**, debido a la reducción de superficie útil.
- El consumo de Energía Final total se reduce un **20 %**.
- El indicador de Energía Final pasa de **80,1 kWh/m²** a **70,4 kWh/m²**.
- El consumo de Energía Primaria total se reduce un **22 %**.
- El indicador de Energía Primaria pasa de **184,5 kWh/m²** a **157,2 kWh/m²**
- Las Emisiones totales de **CO₂** se reducen un **22 %**.
- El indicador de emisiones pasa de **46,6 kWh/m²** a **39,9 kWh/m²**.
- Se evita emitir a la atmósfera **36 toneladas de CO₂** al año.

- La inversión en la mejora propuesta es viable técnica y económico en los escenarios planteados y bajo los parámetros establecidos, con tiempos de recuperación de la inversión, dentro de la vida útil de la misma.

4.4. Instalación de Aerotermia: Bomba de calor reversible y suelo radiante

Criterios de diseño

Dado que el edificio objeto de estudio, se encuentra en una zona climática con inviernos severos (zona climática IV, Toledo), se elige la bomba de calor que proporcione garantías de trabajar en condiciones de baja temperatura sin disminuir en exceso el rendimiento del sistema.

La tipología de suelo radiante será convencional de obra nueva, pues el edificio objeto de estudio, tiene los solados sin ejecutar.

Con objeto de no reducir el espacio útil de las viviendas, se decide que la instalación será de tipo individual (“Monoblock”), es decir contará con una única unidad exterior, instalada en los patios interiores del edificio, y se conectará mediante un sistema de conducciones bi-tubular instalado bajo el pavimento, al cuadro de colectores de cada vivienda, el cual estará empotrado en la pared, preferentemente en el hueco de los armarios empotrados ó en el vestíbulo principal de la vivienda.

Solución adoptada

Se diseña una instalación de aerotermia compuesta por bomba de calor reversible y suelo radiante para calefacción y refrigeración¹. El sistema de generación de ACS será el contemplado en el proyecto original, un termo eléctrico, individual para cada vivienda, de capacidad dependiente del número de dormitorios de la vivienda. El calculo del equipo auxiliar para cada vivienda se encuentra recogido en el *Anexo ??*.

Bomba de calor

La instalación de aerotermia proyectada para cada vivienda está compuesta por una bomba de calor reversible aire/agua BUDERUS modelo “Logatherm” WPL 7 ARM cuyas características principales son las siguientes:

- Alimentación monofásica: 230 V, 50 Hz
- Potencia calorífica nominal:² 7,4 kW
- COP: 4,23
- Potencia frigorífica nominal:³ 6,3 kW
- EER: 2,86
- Peso en funcionamiento: 150 kg
- Tipo de bomba: Circuladora
- Tipo de compresor: SCROLL
- Potencia sonora: 69 dB

Las bombas de calor se dispondrán en los patios interiores y en el patio central del edificio, fijadas mecánicamente mediante estructuras metálicas normalizadas a la fachada, respetando la disposición que recomienda el fabricante.

Cada máquina tendrá conexión hidráulica con el cuadro de colectores de la vivienda correspondiente, mediante sistema bi-tubular de tuberías de polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno (EVOH), con aislamiento térmico mediante coquilla de lana de vidrio.

Cada máquina tendrá conexión eléctrica con el cuadro de mando y protección, de cada vivienda, contando con un circuito independiente de distribución interna. La electrificación de la vivienda será de

¹El suelo radiante proporciona “refrescamiento”, no consigue vencer la carga térmica de refrigeración

²Temperatura de impulsión agua 30/35 °C

³Temperatura de impulsión agua 12/7 °C

grado elevado, siendo la potencia contratada de 9,2 kW.

La bomba de calor seleccionada cumple los requisitos como para considerar la energía utilizada por la instalación de aerotermia como renovable. La justificación de la obtención de la “etiqueta ecológica” de la bomba de calor se encuentra recogida en el *Anexo ??*

Suelo radiante

Se opta por el sistema de climatización invisible UPONOR IBERIA, de tipo convencional con capa de mortero. Cada vivienda contará con un armario empotrado, donde se ubica el colector modular de plástico desde el cual partirán los circuitos de suelo radiante, los cuales dependiendo de la vivienda, serán entre 6 y 10.

La distribución de los circuitos de suelo radiante se realiza sobre un panel portatubos aislante de poliestireno expandido de 13 mm de espesor y banda perimetral de espuma de polietileno, mediante tuberías de polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno (EVO-H).

La regulación se realizará mediante control de temperatura ambiente vía cable. Junto al cuando de colectores se instalará la unidad base de control mediante termóstato que actuará sobre los cabezales electrrotérmicos a 24 V de cada circuito para efectuar la regulación y el control. La programación se realizará mediante un programador digital , para control de dos zonas, en las cuales se instalarán los respectivos termóstatos digitales programables.

El sistema cuenta con un grupo de impulsión modelo “Fluvia” para control de la bomba de circulación y de la humedad instalado en el colector. El conjunto está formado por una centralita modelo C46 con sonda de temperatura exterior y sondas de temperatura de impulsión y retorno, circulador Alpha 2L 25-60, válvula de 3 vías y actuador para válvula mezcladora de 3 vías, con alimentación a 230 V.

Calificación energética con la mejora propuesta

La mejora de la eficiencia energética se traduce en un cambio favorable de la calificación. Se consigue pasar de la calificación E, obtenida para el edificio del caso base, a una calificación D, es decir la mejora de 1 nivel. La mejora de la calificación energética hubiera sido mayor, de haberse encontrado el edificio objeto de estudio en una zona climática con inviernos menos severos.

La etiqueta de eficiencia energética con la calificación obtenida se muestra en la figura 4.10.

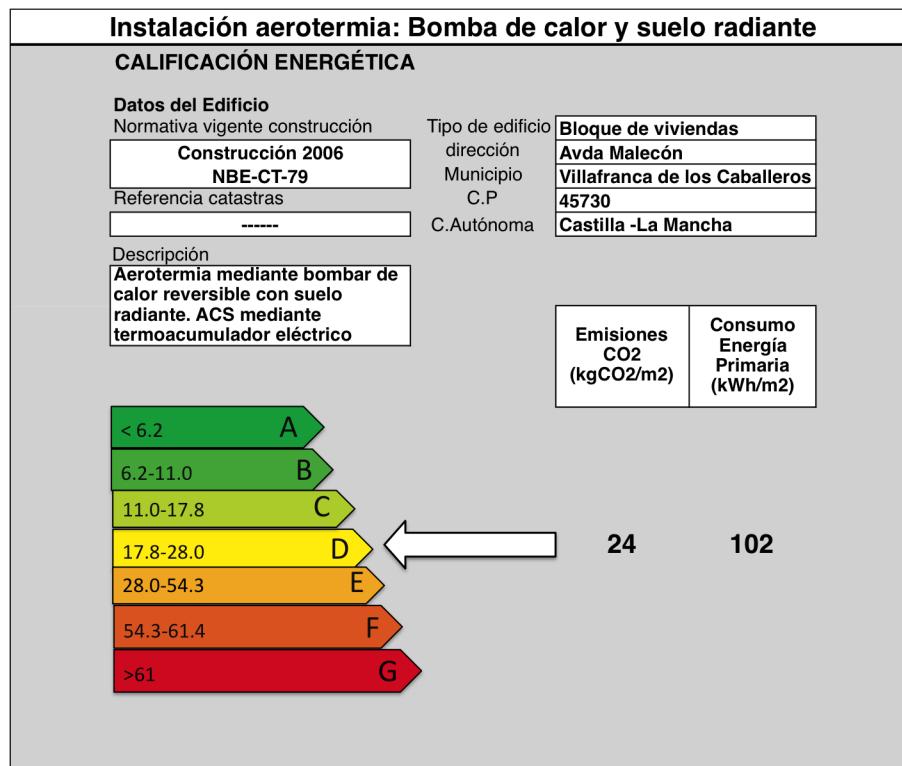


Figura 4.10: Etiqueta de eficiencia energética. Instalación aerotermia

Coste de la mejora propuesta

En la tabla 4.8 se muestran los costes de ejecución y mantenimiento, total y anual por vivienda, de la instalación de aerotermia propuesta. Se puede observar que los equipos de generación tienen un peso importante en el importe total de ejecución de la instalación

CONCEPTO	IMPORTE	FRACCIÓN
IMPORTE DE EJECUCIÓN		
Instalación aerotermia	435.450 €	100 %
Bombas de calor	188.671 €	43 %
Instalación suelo radiante	228.789 €	53 %
Fontanería	17.990 €	4 %
IMPORTE DE MANTENIMIENTO ANUAL		
Instalación aerotermia	2.125 €	100 %
Bombas de calor	2.125 €	76 %
Instalación suelo radiante	1.031 €	18 %
Fontanería	300 €	9 %
IMPORTE MEDIO POR VIVIENDA		
Ejecución instalación	12.807 €	3 %
Mantenimiento instalación	102 €	3 %

Tabla 4.8: Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de aerotermia

Financiación de la mejora propuesta

Se tiene en cuenta el programa PAREER (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales) del IDAE. En la tabla 4.9 se refleja el resumen de la financiación para los dos puntos de vista planteados.

AGENTES	CONSTRUCTOR/PROMOTOR	PROPIETARIO INDIVIDUAL
Nº bombas de calor	34	1
Potencia térmica del generador	241,6 kW	7,4 kW
Principal del préstamo según (1.4)	63.740€	7.160€
Cuota de amortización anual	5.503 €	618€
Fondos propios inversión	371.710 € (85 %)	5.648€ (44 %)

Tabla 4.9: Financiación de la instalación de aerotermia. Puntos de vista

Ahorro económico con de la mejora propuesta

Se obtiene un importante ahorro económico anual con el cambio de sistema de calefacción. En la figura 4.10, se comparan los gastos anuales en electricidad para calefacción.

GASTO ANUAL EN ELECTRICIDAD PARA CALEFACCIÓN	
Edificio con calor azul	16.230€
Edificio con aerotermia	32.632€
Ahorro económico	16.402€

Tabla 4.10: Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de aerotermia

En la figura 4.11 se representan el gasto anual en electricidad para calefacción, en el caso del edificio con la instalación de “calor azul”, y del edificio con la instalación de aerotermia.

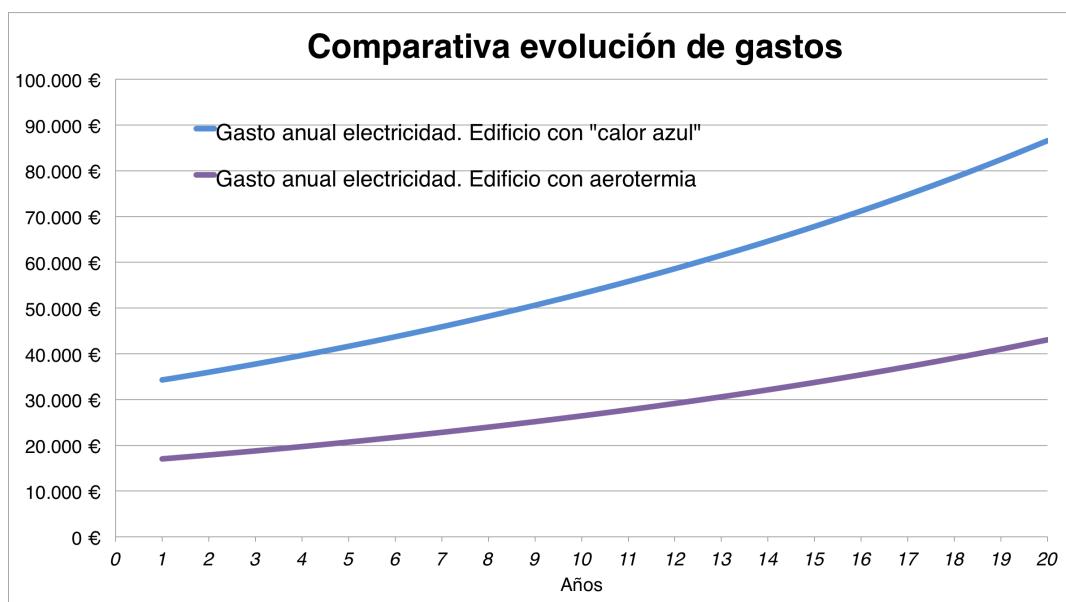


Figura 4.11: Comparativa de gastos en electricidad para calefacción. “Calor azul” frente a aerotermia

Conclusiones de la mejora propuesta

- La instalación de aerotermia y suelo radiante permite aumentar la calificación de eficiencia energética del edificio, pasando de la letra D a la letra **E**. La mejora de la calificación energética siempre es positiva, pues proporciona al edificio de un mayor atractivo frente a otros a la hora de ser evaluado por los potenciales compradores ó inquilinos.
- Debido al suelo radiante, se consigue un leve **reducción de la demanda térmica, 6,9 % en calefacción y 0,7 % en refrigeración**, gracias al aislamiento térmico del suelo.
- Se obtiene un importante **ahorro energético**, tanto en **Energía Primaria (48,5 %)** como en **Energía Final (43 %)**, debido al elevado rendimiento de la bomba de calor y a la eficacia del suelo radiante.
- El ahorro económico anual de Energía Final, con el cambio de instalación de calefacción, valorado en términos de electricidad es de **16.402€**, siendo la media por vivienda de **482€/vivienda**.
- Se produce una **reducción de Emisiones de CO₂ del 27 %**, evitando emitir a la atmósfera **80 toneladas de CO₂** al año.
- El sistema es ampliable, pudiendo suministrar agua caliente sanitaria mediante mediante la instalación de un acumulador, lo cual redundaría en una mayor eficiencia energética del sistema.
- Existe una fuerte dependencia con el precio de la electricidad, al ser ésta, la fuente energética utilizada.
- Se ha observado que la mejora propuesta proporciona una alta eficiencia energética reduciendo los costes de explotación considerablemente.
- El inconveniente de esta propuesta es el **elevado coste de adquisición** de los equipos e instalaciones, que se traduce en **largas periodos de amortización**, en este caso, incluso superiores al periodo de vida útil de la instalación.
- Del estudio se puede sintetizar, que la implementación de aerotermia de forma masiva en bloques de viviendas no resulta tan rentable como venden algunos comerciales, sino que está fuertemente influenciada por el clima en el que se encuentre el edificio/vivienda.

4.5. Instalación de Biomasa: caldera de pellets y suelo radiante

Criterios de diseño

Se descarta la opción de diseñar una instalación de biomasa de tipo individual por la imposibilidad del suministro y almacenamiento del combustible en el interior de la vivienda. Por lo tanto la instalación debe ser de tipo centralizado. La elección de la potencia de la caldera así como de los sistemas auxiliares se realiza en base al cálculo de cargas térmicas efectuado de cada vivienda. La elección del combustible se realiza en base a la disponibilidad de suministro regular y fiable. Por ello se decide que el combustible utilizado será pellets, debido a la presencia de comercializadores en la zona.

La caldera de biomasa así como el almacenamiento y alimentación de combustible estarán ubicados en un cuarto de calderas especialmente habilitado para tal uso, ubicado en el garaje, de forma que el suministro de combustible pueda llevarse a cabo mediante camión cisterna, accediendo a través de la rampa del garaje. La salida de humos de la caldera de biomasa se realizará a través del patio exterior, y tendrá las medidas de protección necesarias para que no suponga peligro alguno para los usuarios.

Solución adoptada

Se propone una instalación de biomasa para calefacción y agua caliente sanitaria de tipo centralizado. El sistema de generación estará formado por una caldera de pellets y el sistema de distribución de calor mediante suelo radiante.

La caldera de pellets seleccionada es el modelo “Firematic” 201 T-Control del fabricante HERZ. Las principales características y componentes de la caldera elegida son:

- Potencia nominal: 54,8 kW y 200,1 kW
- Rendimiento nominal 93 %.
- Peso: 1.370 Kg
- Presión máxima de trabajo: 3 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 95 °C.
- Cuerpo de acero soldado.
- Cámara de combustión con parrilla móvil.
- Sistema automático de limpieza mediante parrilla basculante.
- Intercambiador de calor de tubos verticales con mecanismo de limpieza automática.
- Sistema de recogida y extracción de cenizas del módulo de combustión y depósito de cenizas extraíble.
- Control de la combustión mediante sonda Lambda integrada
- Sistema de mando integrado T-Control con pantalla táctil, para el control de la combustión, del acumulador de A.C.S., del depósito de inercia y de la válvula mezcladora.

La alimentación de combustible se realizará mediante el sistema de alimentación de pellets, para calderas de biomasa Firematic T-Control "HERZ", constituido por un kit básico de extractor flexible para pellets, formado por :

- Tubo extractor de 1 m de longitud.
- Motor de accionamiento de 0,55 kW, para alimentación monofásica a 230 V.
- Tubo de ampliación de extractor flexible para pellets de 3 m de longitud.

- Tubo de conexión de extractor flexible para pellets de 1 m de longitud.

El almacenamiento de combustible se realizará mediante un depósito para almacenaje de pellets, de tejido sintético, con estructura y tolva de acero, de 3,2 toneladas de capacidad, modelo 17 del fabricante HERZ.

Se dispondrá de un acumulador de inercia, de tipo “de suelo”, modelo “PUB 3000” del fabricante HERZ, con capacidad para 3000 litros, con aislamiento térmico de lana mineral de espesor 200 mm.

Las instalaciones se ubicarán en una sala de calderas, acondicionada para tal uso, de superficie igual a 34 m^2 . La sala dispondrá de suministro eléctrico y suministro de agua. El acceso se realizará mediante puertas dobles de acero galvanizado. Se dispondrá de una salida de humos mediante chimenea compuesta por tubos de acero inoxidable.

La distribución de calor se realizará mediante tuberías de polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno (EVOH) y aislamiento térmico mediante coquilla de lana de vidrio. La configuración de la red de distribución de calor desde la sala de calderas hasta el cuadro de colectores de suelo radiante de cada vivienda se detalla en (*Anexo ??*).

Como sistema emisor de calefacción, se decide por la solución de climatización invisible UPONOR IBERIA, de suelo radiante, cuyas características y funcionamiento fueron explicados en 4.4. Mediante una válvula de tres vías se proporciona la conexión necesaria para dar suministro de ACS.

Junto al cuadro de colectores de cada vivienda, se instalará un contador de agua caliente de chorro único con emisor de impulsos, para temperatura máxima de 120°C , de forma que se puedan cuantificar los consumos individuales de cada vivienda, para determinar el reparto del gasto en combustible. El gastos de mantenimiento de la instalación se repartirá de forma proporcional a la superficie útil de cada vivienda y a su distancia al cuarto de calderas.

Calificación Energética con la mejora propuesta

La drástica reducción de Emisiones de CO_2 conseguida mediante la implementación en el edificio objeto de estudio de la instalación de biomasa, permite una mejora muy notable de la calificación de eficiencia energética, pasando de una calificación E, a una calificación **B**.

La etiqueta con la calificación de eficiencia energética, para el edificio con la instalación de biomasa se muestra en la figura 4.12.

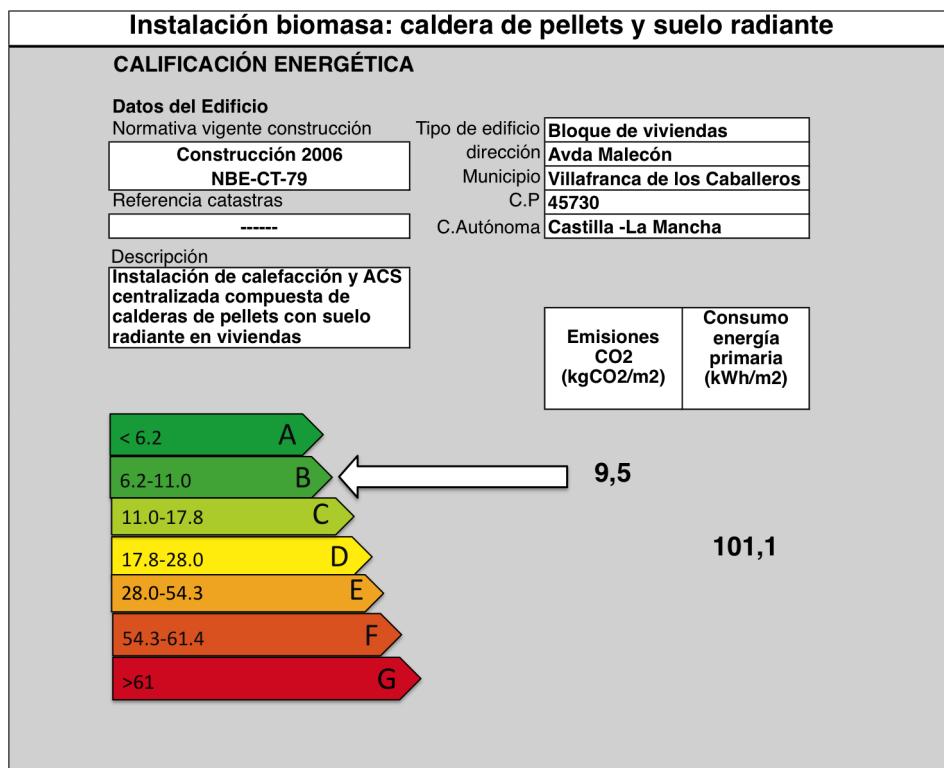


Figura 4.12: Etiqueta de calificación de eficiencia energética. Instalación de biomasa

Coste de la mejora propuesta

En la tabla 4.11 se muestran los costes de ejecución y mantenimiento, fragmentados en las partidas principales de la instalación. Se puede observar que la instalación de suelo radiante tiene un gran peso dentro del total.

CONCEPTO	IMPORTE	FRACCIÓN
IMPORTE DE EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN		
Instalación biomasa	324.350 €	100 %
Equipamiento biomasa	48.769 €	15 %
Instalación suelo radiante	228.862 €	71 %
Fontanería	46.720 €	14 %
IMPORTE DE MANTENIMIENTO ANUAL		
Instalación biomasa	3.266 €	100 %
Equipamiento biomasa	1.514 €	46 %
Instalación suelo radiante	1.144 €	35 %
Fontanería	608 €	19 %
IMPORTE MEDIO POR VIVIENDA		
Ejecución instalación	9.540 €	3 %
Mantenimiento instalación	96 €	3 %

Tabla 4.11: Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de biomasa

Financiación de la mejora propuesta

Se tiene en cuenta el programa PAREER (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales) del IDAE. Los resultados del cálculo de la financiación se muestran en la tabla 1.12

FINANCIACIÓN PAREER. INSTALACIÓN DE BIOMASA		
Principal del préstamo	44.193 €	14 %
Fondos propios	280.158 €	86 %
Cuota amortización anual	3.816€	1,2 %

Tabla 4.12: Financiación PAREER para la instalación de biomasa

Ahorro económico de la mejora propuesta

Con la implementación de la mejora propuesta, se obtiene un ahorro económico anual muy importante en la operación del sistema. En la tabla 4.13 se comparan los gastos energéticos anuales valorados en el año “cero”, en el caso del edificio del caso base y del edificio con la mejora de instalación de biomasa.

GASTO ANUAL EN CALEFACCIÓN Y ACS	
Edificio caso base. Electricidad	37.064 €
Edificio con instalación de biomasa. Pellets	15.016 €
Ahorro económico	22.049 €

Tabla 4.13: Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de biomasa

En la figura 4.13 se representan la evolución de la factura energética en el caso del edificio de caso base (calor azul y termo eléctrico), y del edificio con la instalación de biomasa y suelo radiante propuesta. Se puede apreciar que la elección de la instalación de biomasa ofrece un ahorro energético considerable, frente a la basada en electricidad.

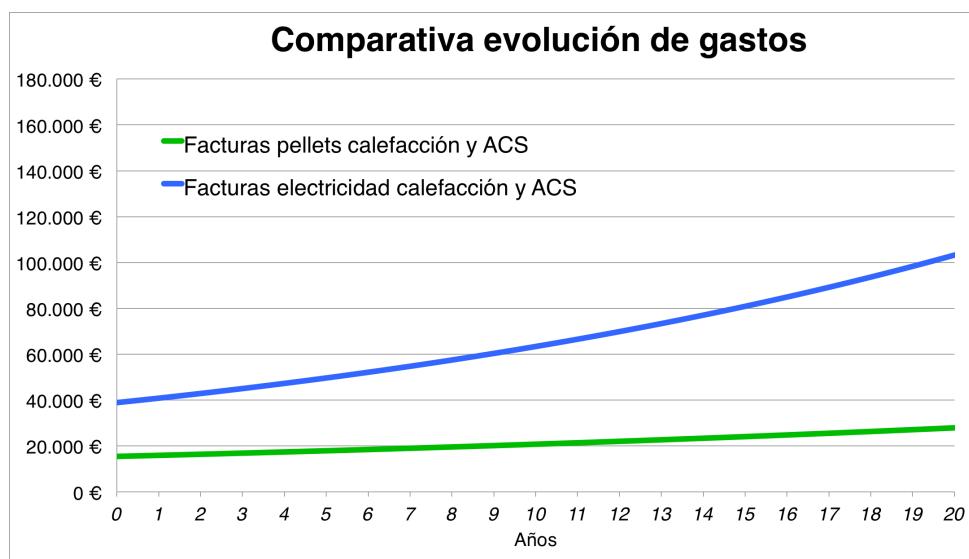


Figura 4.13: Evolución de las facturas energéticas del edificio base y el edificio con la instalación de biomasa

Conclusiones de la mejora propuesta

- Se produce una mejora de la calificación energética significativa, pasando de una calificación E, a una **calificación B**.
- Se obtiene una **leve reducción de la demanda térmica** gracias al aislamiento térmico que proporciona la instalación de suelo radiante. La reducción es de un **6,9 % en calefacción**, y un **0,8 % en refrigeración**.
- El consumo de **Energía Final Total aumenta 9 %**, debido al carácter del combustible utilizado. De forma individual, el aumento en calefacción es del 10 %, y en ACS del 7,5 %.
- El consumo de **Energía Primaria Total** se reduce notablemente, siendo la **reducción** total del **45 %**. De forma individual, la reducción en calefacción es el 49 %, y en ACS del 59 %.
- Se produce una **reducción de las emisiones de CO₂ del 79 %**, evitando emitir a la atmósfera **133 toneladas de CO₂ al año**
- El **ahorro económico anual** en el año cero, en la factura energética es de **22.049€**, que supone reducir la factura un **60 %**.
- La inversión en la instalación de biomasa resulta ser viable, produciendo un ahorro económico importante..
- Los factores críticos que afectan a la viabilidad de la instalación de biomasa, son la evolución de los precios energéticos, pellet y electricidad. El primero está vinculado con la demanda de pellet y a su disponibilidad de suministro. El segundo está influenciado por múltiples factores, entre ellos, decisiones políticas, que desaconsejan utilizar la electricidad como fuente energética principal.
- Del análisis de sensibilidad efectuado, se observa que, una tendencia alcista del precio del pellet, desaconseja la inversión, mientras que, un escenario de precios al alza de la electricidad, invita a llevar a cabo la inversión en la instalación de biomasa

4.6. Instalación de Gasóleo: caldera de baja temperatura y suelo radiante

Introducción

A parte de las mejoras ya propuestas: energía solar térmica, aerotermia y biomasa, otra de las soluciones de alta eficiencia energética empleadas actualmente en calefacción y ACS, son las calderas de condensación a gas natural. Ofrece como ventajas: un alto rendimiento energético, el bajo precio del gas natural y una combustión más limpia que la de otros derivados del petróleo.

No obstante, en el municipio de Villafranca de los Caballeros, donde se encuentra el edificio objeto de estudio, actualmente no existe red de suministro de gas natural, y debido a la actual crisis económica, no hay expectativas de que se desarrolle en los próximos años.

Una de las soluciones más extendidas en el municipio, son las instalaciones de calefacción basadas en gasóleo (también denominado “gasoil”). Estas consisten en una caldera convencional, un depósito de combustible y una instalación bi-tubular de radiadores de aluminio ó similar, como sistema emisor de calor.

Ante la imposibilidad de suministro de gas natural, se decide proponer una instalación basada en gasóleo, pero diseñada con criterios de eficiencia energética

Criterios de diseño

La instalación de calefacción y ACS basada en gasóleo será de tipo centralizado.

El sistema de distribución de calor en viviendas estará formado por suelo radiante, en parte para poder comparar las instalaciones con mayor igualdad, y en parte debido a las ventajas que ofrece éste frente a otros sistemas de distribución de calor.

En cuanto al sistema generador, se decide que estará formado por una caldera de baja temperatura a gasóleo, para garantizar la compatibilidad con el suelo radiante y obtener así un sistema de alta eficiencia energética. Se prevé la producción simultánea de agua caliente sanitaria mediante un acumulador de ACS y una válvula de 3 vías.

Tanto la caldera de gasóleo como el depósito de combustible, y el depósito de ACS, estarán centralizados en un cuarto de calderas habilitado para tal uso, ubicado en el garaje del edificio. La sala de calderas dispondrá de suministro de agua y electricidad. Dispondrá de una salida para evacuación de los humos resultantes de la combustión. El acceso de realizará mediante puertas dobles de acero galvanizado.

Solución adoptada

Se propone una instalación de calefacción y agua caliente sanitaria, basada en una caldera de baja temperatura a gasóleo, en combinación con una instalación de suelo radiante individual en viviendas.

El generador de calor será una caldera de tipo “de pie”, de baja temperatura, modelo “Logano” GE315 200, del fabricante BUDERUS, con tecnología *Thermostream* (principio de anti-condensación, no necesita temperatura mínima de retorno), quemador presurizado de gasóleo, potencia útil de 171 a 200 kW, rendimiento nominal del 93 % y sistema de regulación “Logamatic 4211”, para la regulación de la caldera (en función de la temperatura exterior), del circuito de calefacción y del circuito de A.C.S.

El almacenamiento del combustible gasóleo se realizará en un deposito de superficie, homologado, construido en chapa de acero, con capacidad para 7.500l y con medidor de nivel incorporado. La conexión con la caldera se realizará mediante una tubería de cobre de 18 mm de diámetro protegida con tubo de PVC.

La instalación de suelo radiante será la solución de “climatización invisible” de UPONOR, denominada UPONOR IBERIA. Junto al cuadro de colectores de suelo radiante de cada vivienda se instalará un contador de agua caliente para contabilizar los consumo energéticos de cada vivienda de forma individual.

La caldera, el depósito de combustible y el depósito de ACS, así como los grupos de impulsión, estarán ubicados en una sala de calderas habilitada para tal uso, situada en el garaje, y con acceso para el suministro del gasóleo mediante camión cisterna, a través de la rampa del garaje. La sala de calderas dispondrá de una salida de humos para la caldera de gasóleo.

La distribución de calor desde la sala de calderas hasta el cuadro de colectores de cada vivienda, se realizará mediante tuberías de polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno (EVOH) dispuestas en el interior del falso techo, en interiores, y fijadas mecánicamente a la pared, en exteriores. La configuración de la red de distribución se detalla en el (*Anexo ??*).

En la figura 4.14 se muestra un ejemplo existente, de la instalación que se propone.



Figura 4.14: Ejemplo de instalación de calefacción y ACS a gasóleo BUDERUS. Fuente:[?]

Calificación energética con la mejora propuesta

La reducción de emisiones de CO_2 conseguida permite una mejora de la calificación de eficiencia energética, pasando de la calificación E, obtenida para el edificio con calefacción y ACS a mediante electricidad, a una calificación D, con calefacción y ACS mediante gasóleo.

La calificación de eficiencia energética obtenida se muestra en la figura 4.15.

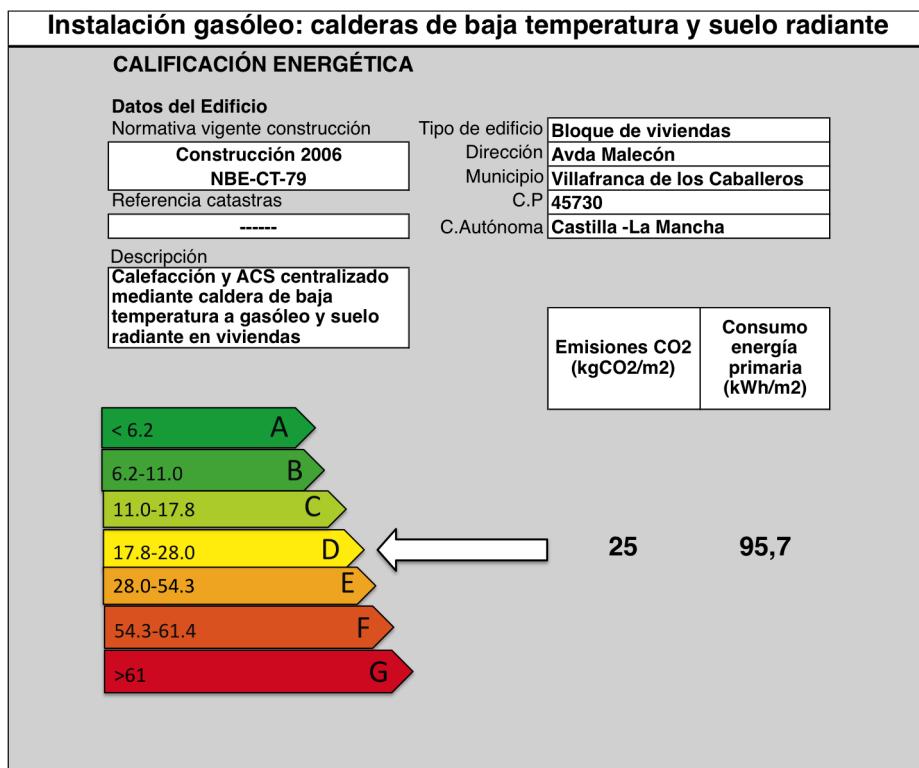


Figura 4.15: Etiqueta de calificación de eficiencia energética

Costes de adquisición de la mejora propuesta

En la tabla 4.14 se muestran los costes de ejecución y mantenimiento, fragmentados en los partidas principales de la instalación. Se puede observar que la instalación de suelo radiante tiene un gran peso dentro del total, y que el coste del equipamiento en gasóleo (caldera, depósito, vaso de expansión, etc.) es muy pequeño en comparación con el coste del suelo radiante.

CONCEPTO	IMPORTE	FRACCIÓN
IMPORTE DE EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN		
Instalación de gasóleo	287.828 €	100 %
Equipamiento gasóleo	11.992 €	4 %
Instalación suelo radiante	228.862 €	80 %
Fontanería	46.974 €	16 %
IMPORTE DE MANTENIMIENTO ANUAL		
Instalación de gasóleo	2.234 €	100 %
Equipamiento gasóleo	480 €	21 %
Instalación suelo radiante	1.144 €	51 %
Fontanería	610 €	27 %
IMPORTE MEDIO POR VIVIENDA		
Ejecución instalación	8.466 €	3 %
Mantenimiento anual	66 €	3 %

Tabla 4.14: Costes de ejecución y mantenimiento de la instalación de gasóleo

Financiación de la mejora propuesta

Se tiene en cuenta el programa PAREER (Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales) del IDAE. Los resultados del cálculo de la financiación se muestran en la tabla 1.16

FINANCIACIÓN PAREER. INSTALACIÓN DE GASÓLEO		
Principal del préstamo	55.285 €	19 %
Fondos propios	232.542 €	81 %
Cuota amortización anual	4.773€	1,7 %

Tabla 4.15: Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación de gasóleo

Ahorro económico con la mejora propuesta

Con la implementación de la mejora propuesta, se obtiene un ahorro económico anual en la operación del sistema. En la tabla 4.16 se comparan los gastos energéticos anuales valorados en el año “cero”, en el caso del edificio del caso base y del edificio con la mejora de instalación de biomasa.

GASTO ANUAL EN CALEFACCIÓN Y ACS	
Edificio caso base. Electricidad	37.064 €
Edificio con instalación de gasóleo	21.594 €
Ahorro económico	15.470 €

Tabla 4.16: Gastos energéticos antes y después de la mejora de la instalación de gasoleo

En la figura 4.16 se representan los costes energéticos en el caso del edificio con la instalación de calor azul y termo eléctrico, y del edificio con la instalación de gasóleo y suelo radiante. Se puede apreciar que la elección de la instalación de gasóleo ofrece un ahorro energético frente a la instalación eléctrica.

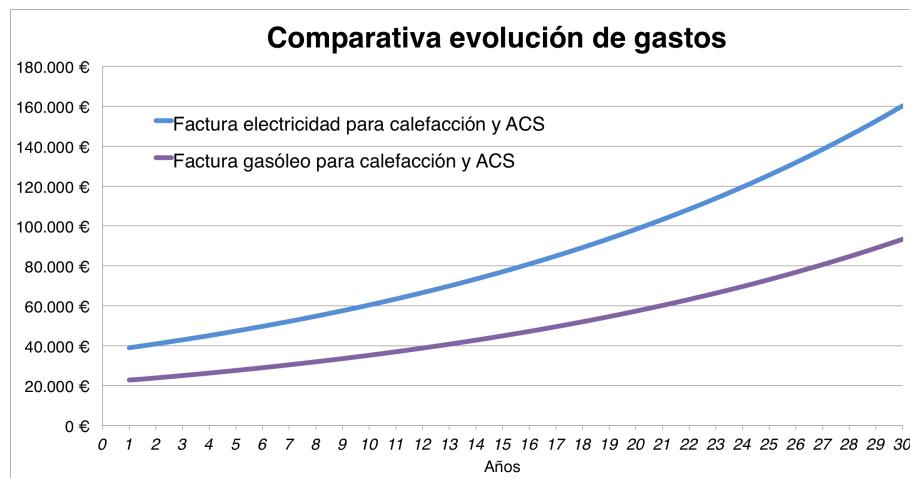


Figura 4.16: Evolución de las facturas energéticas del edificio base y el edificio con la instalación de gasóleo

Conclusiones de la mejora propuesta

- Se consigue una mejora de la calificación de eficiencia energética. Se pasa de la letra E a la letra D
- Debido al aislamiento que proporciona el suelo radiante, se consigue una **reducción de la demanda térmica**, en **calefacción**, del **6,9 %**, y en **refrigeración**, del **0,8 %**.

- El consumo de **Energía Final Total** se reduce un **3 %**.
- EL consumo de **Energía Primaria Total** se reduce un **48 %**.
- Las **Emisiones Totales de CO₂** se reducen un **46 %**, evitando emitir a la atmósfera **77 toneladas de CO₂ al año**.
- El **ahorro económico** en la factura energética anual, valorado en el año “cero” es de **15.470 €**, que supone de media **317 €/vivienda**
- La inversión resulta ser **NO viable** bajo los parámetros establecidos, ya que el periodo de recuperación es excesivamente largo, superando la vida útil de la instalación (20 años).
- Los factores que mas condicionan la inversión son la evolución de los precios energéticos, como se ha visto en el estudio de sensibilidad.

4.7. Comparativa final entre las propuestas de mejora

En este apartado se comparan los resultados obtenidos para cada una de las propuestas de mejora para el edificio objeto de estudio

Demanda Térmica

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestran la demanda térmica de calefacción y refrigeración del edificio en el caso base, y con cada una de las mejoras propuestas.

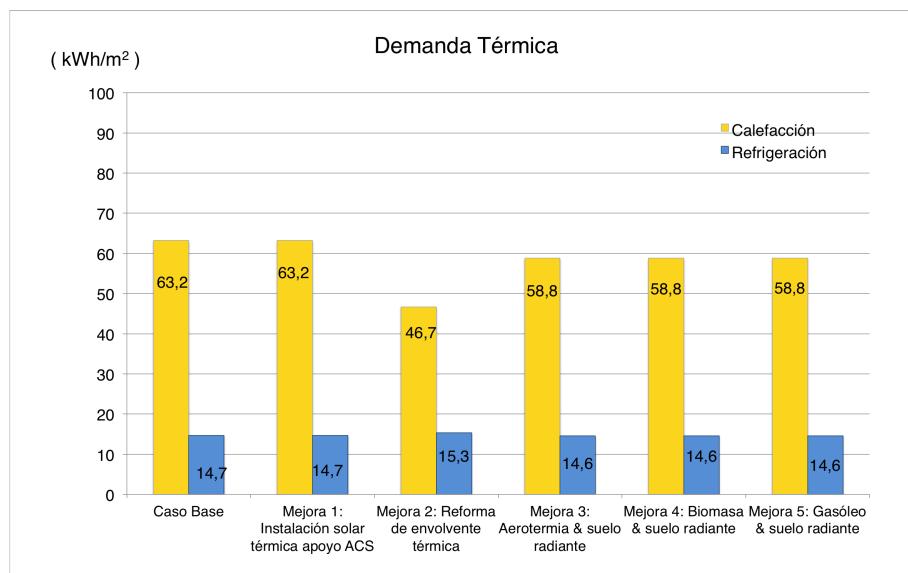


Figura 4.17: Comparativa final de demanda térmica normalizada

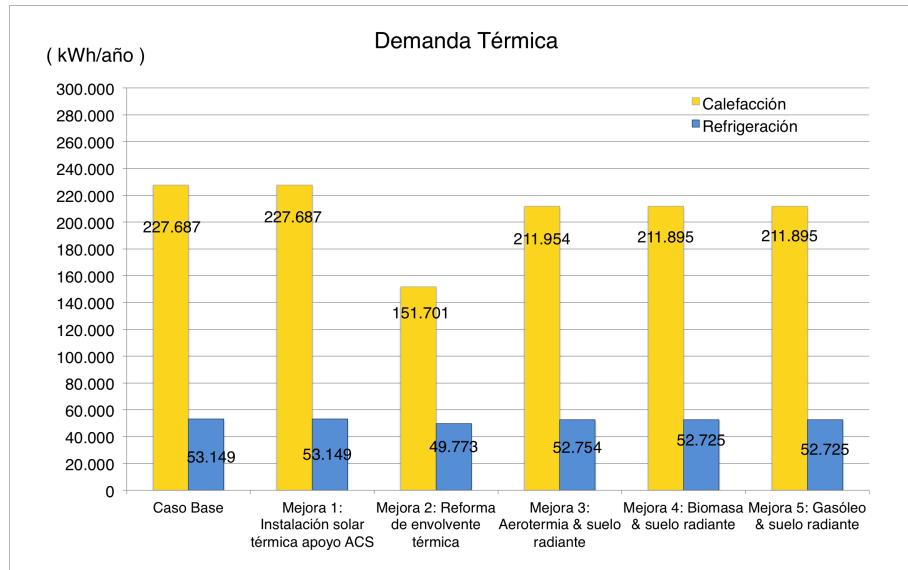


Figura 4.18: Comparativa final de demanda térmica anual total

Energía Final

En las figuras 4.19 y 4.20 se muestran los consumos de Energía Final del edificio en el caso base, y con cada una de las mejoras propuestas.

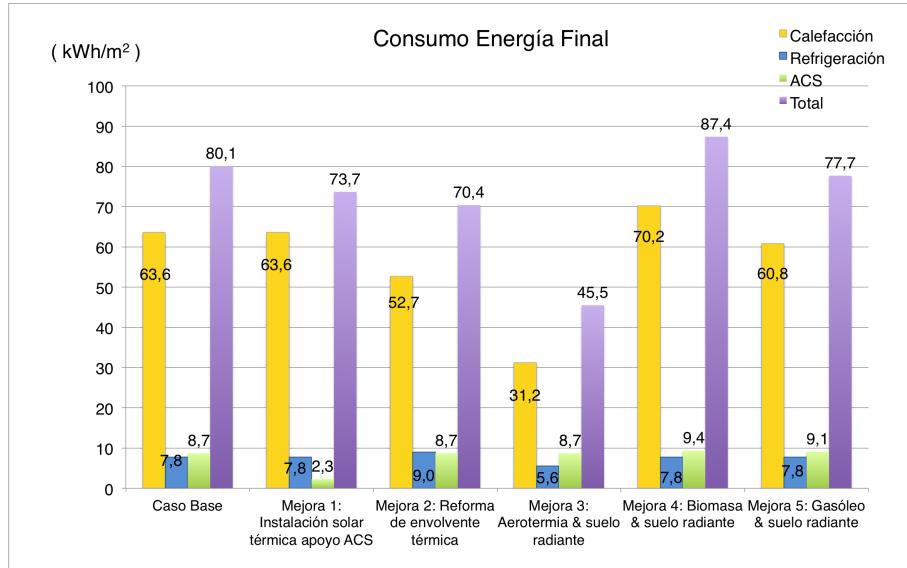


Figura 4.19: Comparativa del consumo de Energía Final normalizado

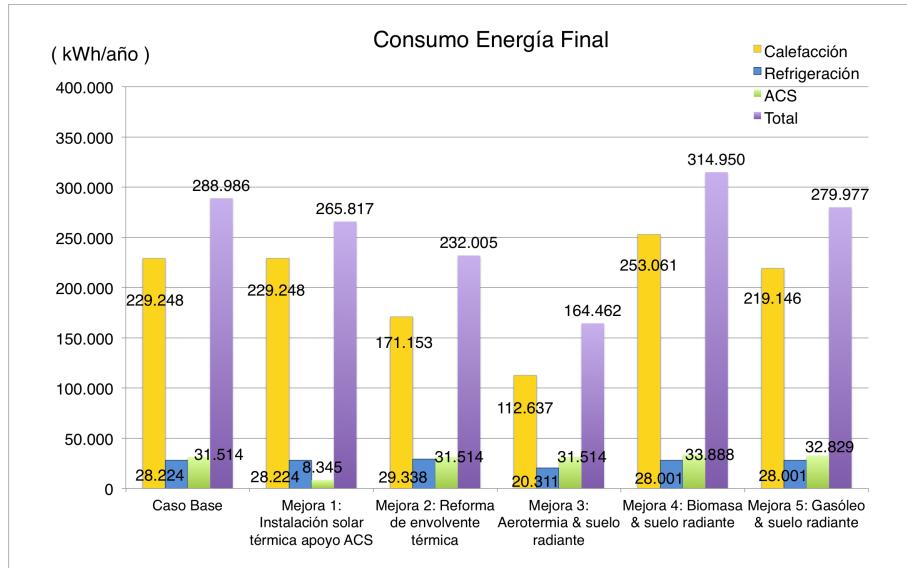


Figura 4.20: Comparativa del consumo de Energía Final anual total

Energía Primaria

En las figuras 4.21 y 4.22 se muestran los consumos de Energía Primaria del edificio en el caso base, y con cada una de las mejoras propuestas.

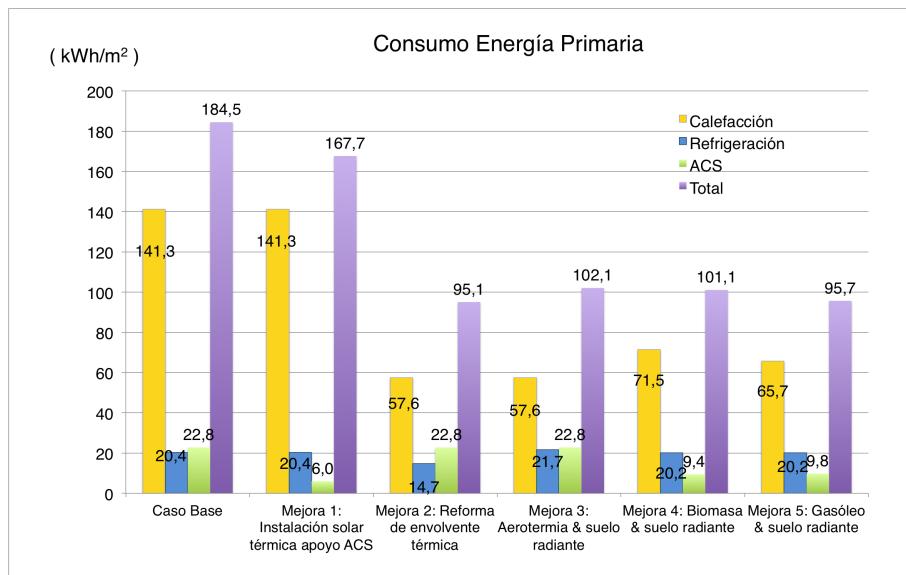


Figura 4.21: Comparativa final del consumo de Energía Primaria normalizado

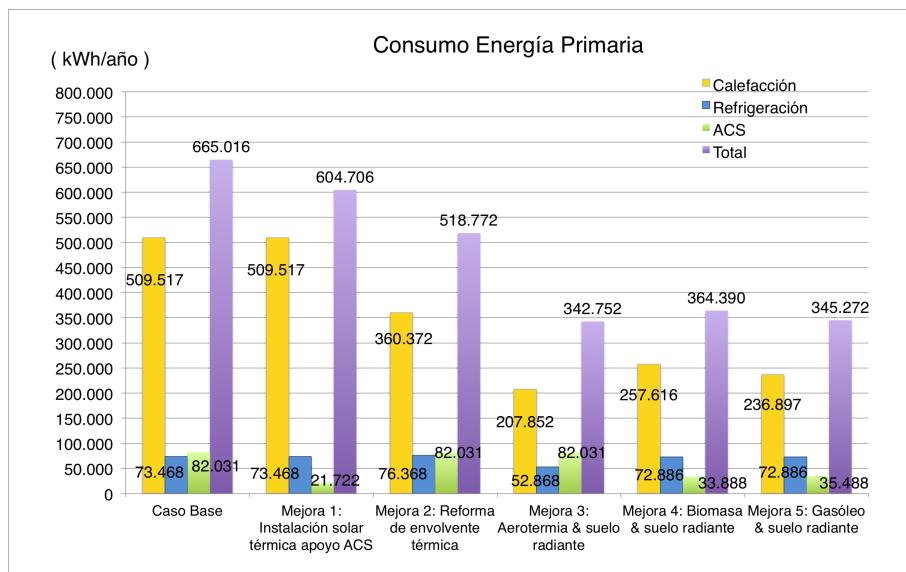
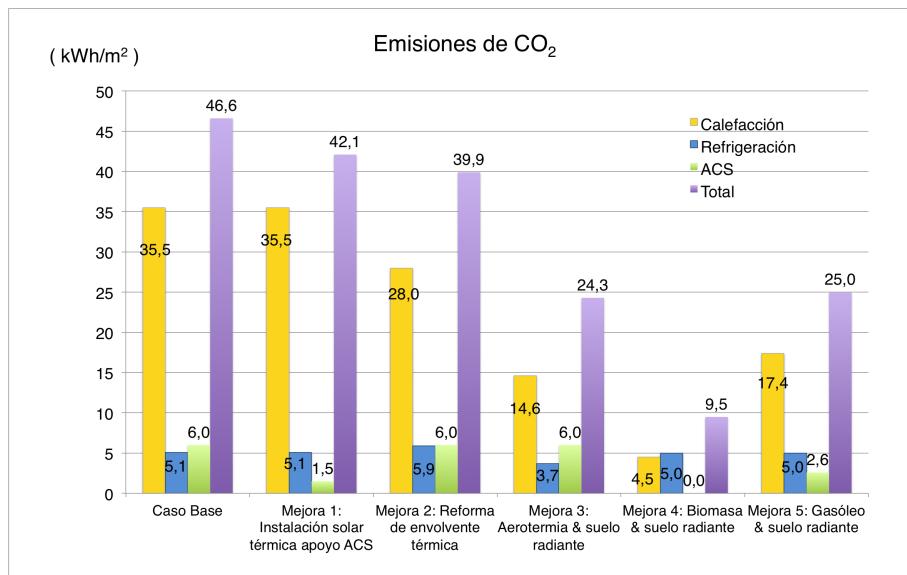
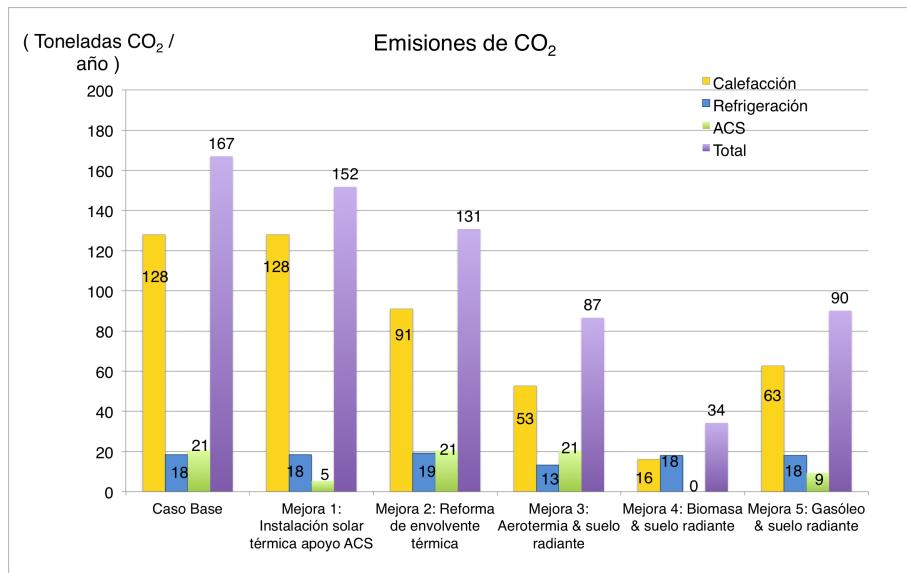


Figura 4.22: Comparativa final del consumo de Energía Primaria anual total

Emisiones de CO_2

En las figuras 4.23 y 4.24 se muestran las Emisiones de CO_2 del edificio en el caso base, y con cada una de las mejoras propuestas.

Figura 4.23: Comparativa final de las Emisiones de CO_2 normalizadasFigura 4.24: Comparativa final de las Emisiones de CO_2 anual total

Gasto energético anual en calefacción y ACS

En la figura 4.25 se comparan los gastos energéticos del edificio para el caso base, y con cada una de las mejoras propuestas

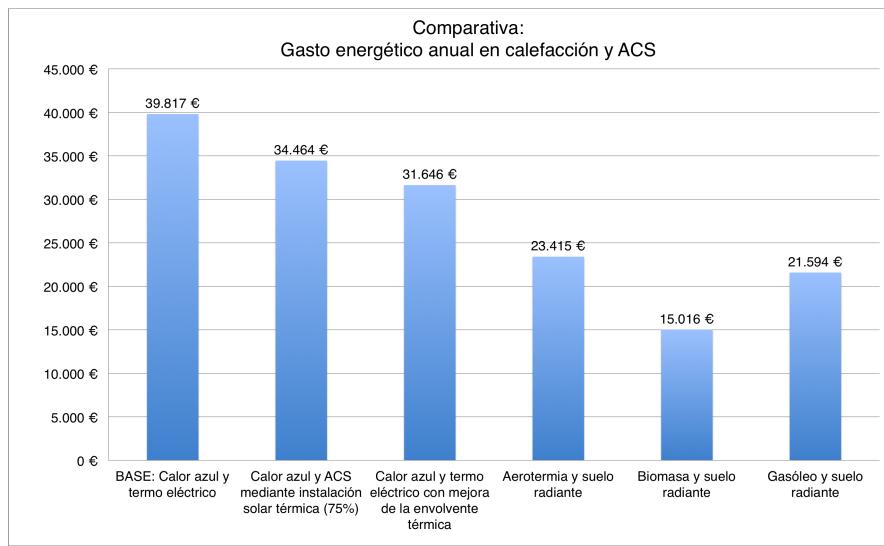


Figura 4.25: Comparativa de gasto energético anual

Mantenimiento anual

En la figura 4.26 se comparan los gastos en mantenimiento de las instalaciones , para el edificio del caso base, y para cada una de las mejoras propuestas

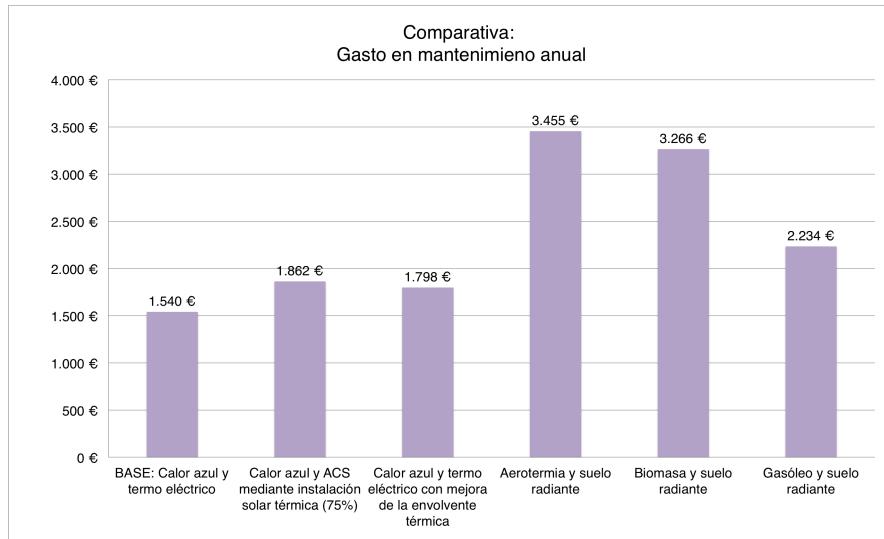


Figura 4.26: Comparativa mantenimiento anual

Costes de adquisición

En la figura 4.27 se comparan los costes de adquisición del sistema completo, para el edificio del caso base, y para cada una de las mejoras propuestas

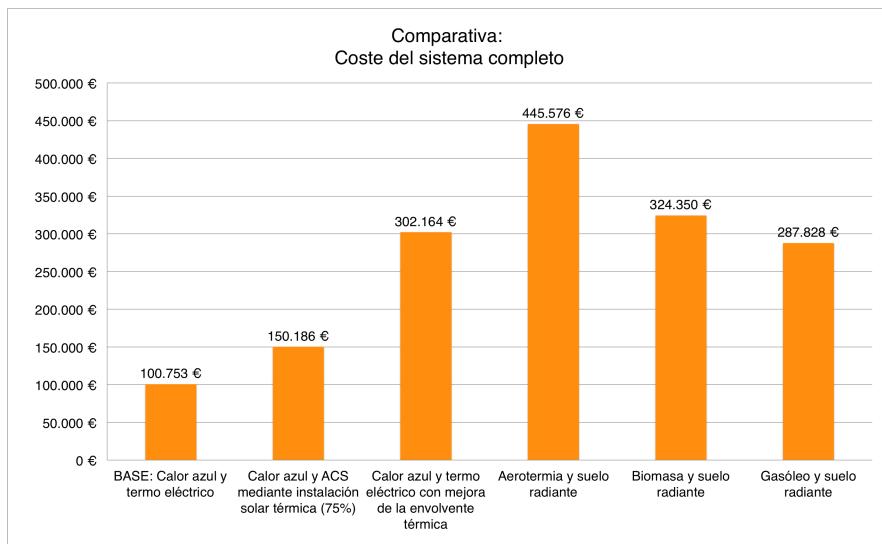


Figura 4.27: Comparativa de costes de adquisición de cada sistema completo

Ahorro económico

En la figura 4.28 se compara el ahorro económico conseguido con cada una de las mejoras propuestas.

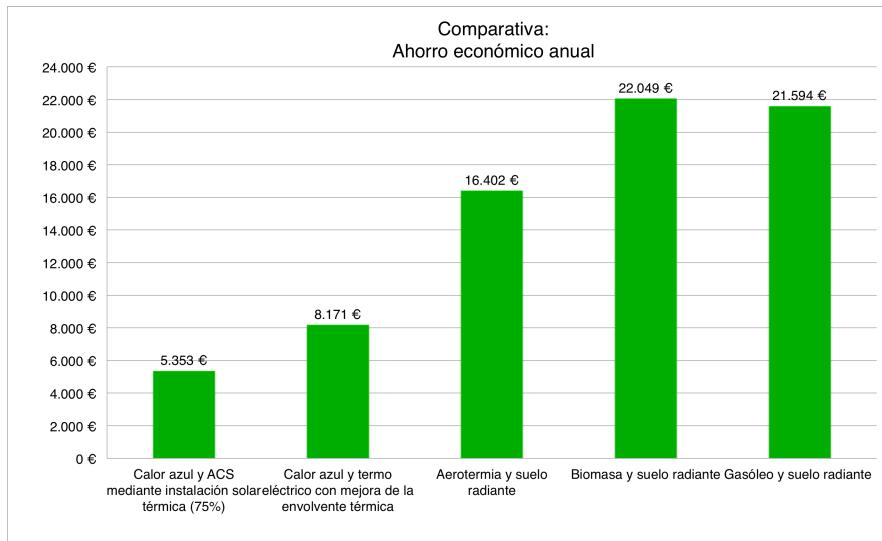


Figura 4.28: Comparativa de ahorro económico conseguido con cada mejora propuesta

Parte II

Anexos

Anexo 1

Estudios de viabilidad económica

ÍNDICE ESTUDIOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS
- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA
- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE AEROTERMIA Y SUELO RADIANTE
- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN BIOMASA Y SUELO RADIANTE
- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE GASOLEO Y SUELO RADIANTE

Evaluación económica de la instalación solar térmica para ACS

Financiación

Se plantea la inversión en la instalación solar térmica en el marco de una rehabilitación energética, por ello se tiene en cuenta el **Programa de Ayudas para la Rehabilitación de Eficiencia Energética de Edificios del sector Residencial (PAREER)**, promovida por el IDAE.

La mejora propuesta coincide con la actuación N° 2, recogida en la convocatoria del programa : “*Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación*”, en particular con el caso S3: “*Sustitución de energía convencional por energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en edificios*”. [?].

Los requisitos para obtener la ayuda son los siguientes:

- Cumplimiento de la Exigencia Básica HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Cumplimiento de la normativa vigente establecida en el RITE.
- Los capadores deberán estar certificados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Los capadores deberán poseer un coeficiente global de pérdidas inferior a $9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- En instalaciones de potencia superior a 14 kW, se debe disponer de un sistema de medida de la energía suministrada.
- En instalaciones de potencia superior a 70 kW, se debe disponer de un sistema de teleseguimiento PRETEL, conectado a IDAE.

De acuerdo con la convocatoria de este programa, para una instalación solar térmica destinada a la producción de ACS, la ayuda consiste en un **préstamo reembolsable**, que podrá ser de hasta el **90 % del coste elegible de la actuación**. El importe máximo del préstamo reembolsable está acotado por la potencia de la instalación solar térmica, según la expresión (1.1).

$$1,170 \times P_{solar}^{0,9} \quad (1.1)$$

donde :

$$P_{solar} = \eta \times A \times G_{ref} \quad (\text{kW}) \quad (1.2)$$

cada término en (1.2) es:

- η es el rendimiento del sistema de captación, que depende de las condiciones de diseño y funcionamiento. Para esta instalación será de 0,7.
- A es el área de apertura del sistema de captación en m^2 . Teniendo en cuenta el área de apertura de los capadores escogidos y el número total de capadores, el área de apertura total será de 47,04 m^2 .
- G_{ref} es la irradiación solar de referencia (25°C , 1atm), que se toma igual 1000 W/m^2 .

La potencia de la instalación solar será entonces mediante (1.2):

$$\mathbf{32,9 \text{ kW}}$$

El **importe máximo a financiar** será entonces mediante (1.1):

27.164 €

El **tipo de interés de la financiación** y el **periodo máximo de amortización** también son fijados en la convocatoria del programa. El tipo de interés será igual al EURIBOR¹ el cual se toma de la web oficial [?] y será igual a **0,55 %**. El periodo máximo de amortización es fijado en **12 años**, y será el que se tenga en cuenta. En los estudios de viabilidad económica de las propuestas siguientes, se establecerá los mismos criterios.

La amortización se realizará anualmente. La cuota a pagar se calcula mediante la expresión (1.3).

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (1.3)$$

donde:

- i es la tasa de descuento.
- n el periodo de amortización.
- P es el principal a financiar.

La **cuota anual de amortización** resultante de aplicar los parámetros de esta inversión a (1.3) es de:

2.345 €

En todos los estudios de viabilidad económica que siguen a esta propuesta de mejora, se tendrá en cuenta (1.3) para determinar la cantidad de la cuota anual de amortización.

Resumen del presupuesto de ejecución material

La evaluación económica de la mejora propuesta tiene en cuenta, el coste de implementar la mejora y el ahorro económico asociado a la reducción de consumo energético. Se parte del presupuesto de ejecución material de la instalación, obtenido mediante, el programa de mediciones y presupuestos de CYPE, *Arquímidés*. El resumen del presupuesto de ejecución material se muestra en la tabla 1.1 donde los importes corresponden con las mediciones efectuadas de los conceptos indicados y que se detallan en el *Anexo ??*.

¹ “Euro Interbank offered Rate”, EURIBOR, Índice de referencia publicado diariamente que indica el tipo de interés promedio al que las entidades financieras se ofrecen a prestar dinero en el mercado interbancario del euro

RESUMEN PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		
Nº	CONCEPTO	IMPORTE (€)
1.1	Batería de 4 módulos SAUNIER DUVAL modelo “Helioplan” SRV 2.3	16.575,65
1.2	Punto de llenado red distribución de agua	190,58
1.3	Tubería de distribución ACS cobre rígido 10/12mm	2.672,12
1.4	Tubería de distribución ACS cobre rígido 16/18mm	1.912,44
1.5	Tubería de distribución ACS cobre rígido 20/22mm	1.907,43
1.6	Tubería de distribución ACS cobre rígido 26/28mm	4.803,84
1.7	Tubería de distribución ACS cobre rígido 33/35mm	5.426,67
1.8	Tubería de distribución circuito primario de cobre rígido 20/22mm	323,47
1.9	Tubería de distribución circuito primario de cobre rígido 26/28mm	2.315,54
1.10	Tubería de distribución circuito primario de cobre rígido 33/35mm	2.871,71
1.11	Punto de vaciado red distribución de agua	527,28
1.12	Electrobomba centrífuga de 3 velocidades 0,11kW 1F 230V	319,76
1.13	Electrobomba centrífuga de 3 velocidades 0,071kW 1F 230V	309,33
1.14	Electrobomba centrífuga de 3 velocidades 0,071kW 1F 230V	309,33
1.15	Electrobomba centrífuga de 3 velocidades 0,104kW 1F 230V	315,41
1.16	Vaso de expansión cerrado 12l	108,27
1.17	Vaso de expansión cerrado 18l	111,55
1.18	Vaso de expansión para ACS 8l	61,33
1.19	Vaso de expansión para ACS 12l	64,58
1.20	Interacumulador acero vitrificado JUNKERS CV-1500-M1 1650l	7.066,52
1.21	Interacumulador acero vitrificado JUNKERS CV-1500-M1 1500l	5.297,78
1.22	Purgador automático de aire, presión y T°max. 6 bar y 110°C	74,16
1.23	Contador de agua caliente de lectura directa general	166,04
1.24	Contador de ACS para vivienda con válvula de corte	166,04
1.25	Centralita control diferencial para sistema de captación solar	540,40
TOTAL		57.027,13 €

Tabla 1.1: Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación solar térmica para ACS

Aspectos relevantes de la evaluación económica

Para cuantificar los flujos de caja en la evaluación económica de la inversión en una instalación solar térmica para generación de ACS, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La vida útil de la instalación solar térmica se fija en 20 años.
- Se considera como “ingreso”, la reducción del gasto en electricidad destinada a la producción de ACS. Es decir los ingresos serán los ahorros económicos producidos con el cambio de sistema de generación de ACS.
- Para cuantificar el ahorro económico en electricidad para ACS, se consulta los servicios de la compañía comercializadora con mayor presencia en la zona, gasNatural Fenosa, y se toma como referencia la tarifa “Óptima Luz”, que tiene asociados un término de energía de 14,0656 ¢/kWh, y un término de potencia mensual de 3,5036 €. [?].
- La potencia contratada es de 9,2 KW.
- En cuanto a la evolución del precio de la electricidad, debido a que en los últimos años está sufriendo continuas subidas, directamente, o indirectamente mediante cambios de regulación y política energética, se toma como punto de partida, un 5 % de incremento anual.

- La tasa de descuento que se tiene en cuenta para esta evaluación económica es la correspondiente a la inversión libre de riesgo, que en este caso, se toma como el rendimiento de las obligaciones del Estado Español a 20 años [?]. Será entonces igual al 3%.

Resultados de la evaluación económica. Con financiación

Los resultados de la evaluación económica se muestran en la tabla 1.2 mediante los principales indicadores de viabilidad económica, estos son el VAN (Valor Actual Neto de la inversión), la TIR (Tasa Interna de Retorno, mínima rentabilidad exigible) y el Payback (Plazo de recuperación de la inversión procedente de fondos propios). Estará serán la forma en la que se muestren los resultados de la evaluación económica de cada propuesta de mejora.

EVALUACIÓN ECONÓMICA INSTALACIÓN SOLAR ACS	
VAN	50.908 €
TIR	12 %
PAYBACK	12 años

Tabla 1.2: Resultados evaluación económica instalación solar ACS

La evolución de la rentabilidad de la inversión, durante el ciclo de vida de la inversión, se muestra en la figura 1.1, mediante el valor del flujo de caja anual acumulado y actualizado al año “cero”.

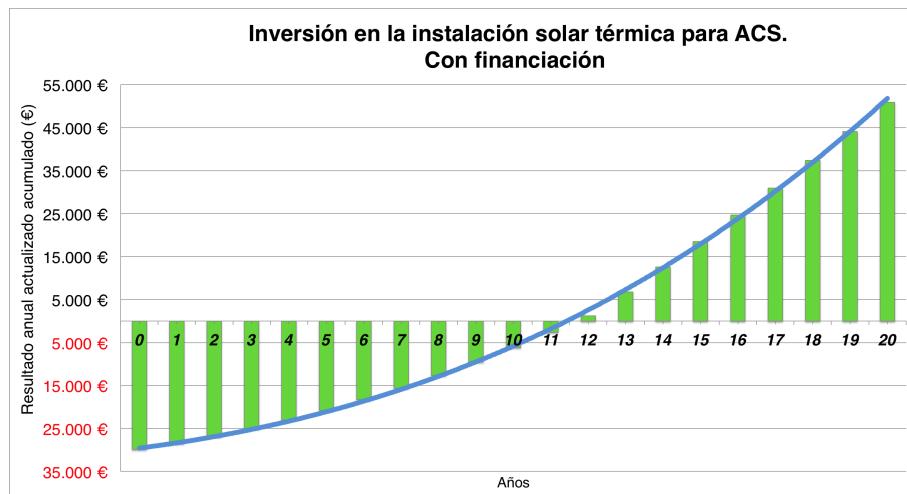


Figura 1.1: Evolución de la rentabilidad de la instalación solar térmica ACS

Se observa que la instalación solar térmica, produce un considerable ahorro económico, en la generación de ACS, y fruto de ello, se recupera la inversión inicial en un periodo de 12 años.

Resultados de la evaluación económica. Sin financiación

En el caso de que la financiación del programa PAREER no fuera concedida, y la inversión tuviera que ser afrontada con fondos propios, al 100 %, los resultados económicos serían los mostrados en la tabla 1.3.

EVALUACIÓN ECONÓMICA INSTALACIÓN SOLAR ACS. SIN FINANCIACIÓN	
VAN	47.090 €
TIR	9 %
PAYBACK	13 años

Tabla 1.3: Resultados evaluación económica instalación solar ACS. Sin financiación

La evolución de la rentabilidad de la inversión, durante el ciclo de vida de la misma, para el caso en que la financiación no fuera concedida, se muestra en la figura 1.2.

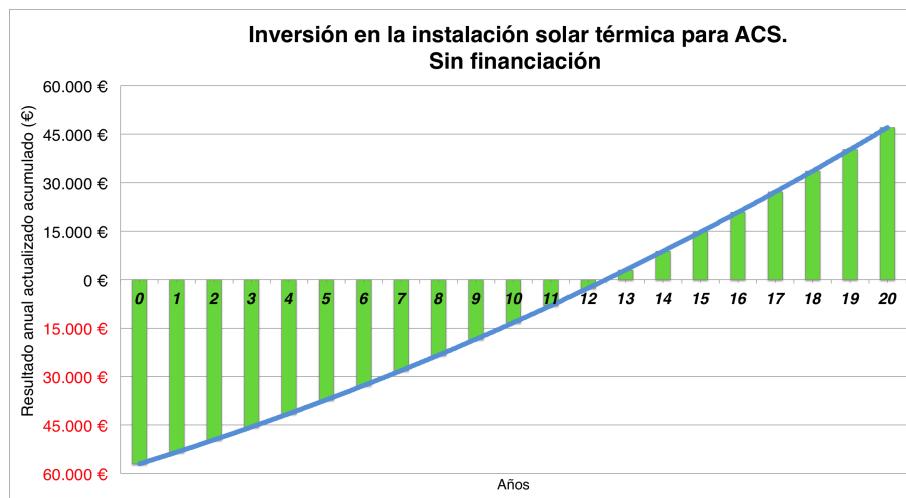


Figura 1.2: Evolución de la rentabilidad de la instalación solar térmica ACS. Sin financiación

Se observa, que la rentabilidad de la inversión se resiente al no obtener financiación, aumentando del tiempo de recuperación (Payback) y disminuyendo la rentabilidad (VAN). No obstante la inversión sigue siendo factible. El principal inconveniente sería tener que afrontar la inversión con fondos propios al 100 %, dada la actual situación de crisis económica.

Análisis de sensibilidad

La tendencia alcista del precio de la electricidad y la inestabilidad de su marco regulatorio invitan a plantear distintos escenarios de evolución del precio de la electricidad.

Es por ello que se realiza un análisis de sensibilidad en torno a este factor. Se realiza bajo la hipótesis de que la financiación del programa PAREER es conseguida. En las figuras 1.3 y 1.4 se representan los resultados del análisis de sensibilidad.

Del análisis de sensibilidad se desprende que la inversión en energía solar para producción de ACS es más rentable, cuanto mayor es el incremento del precio de la electricidad, es decir mayor es el ahorro económico que se produce con el cambio de sistema. Se observa que en un escenario de fuertes aumentos del precio de la electricidad la instalación solar térmica ofrece un gran ahorro económico, y por tanto se produce el retorno de la inversión en períodos más cortos de tiempo.

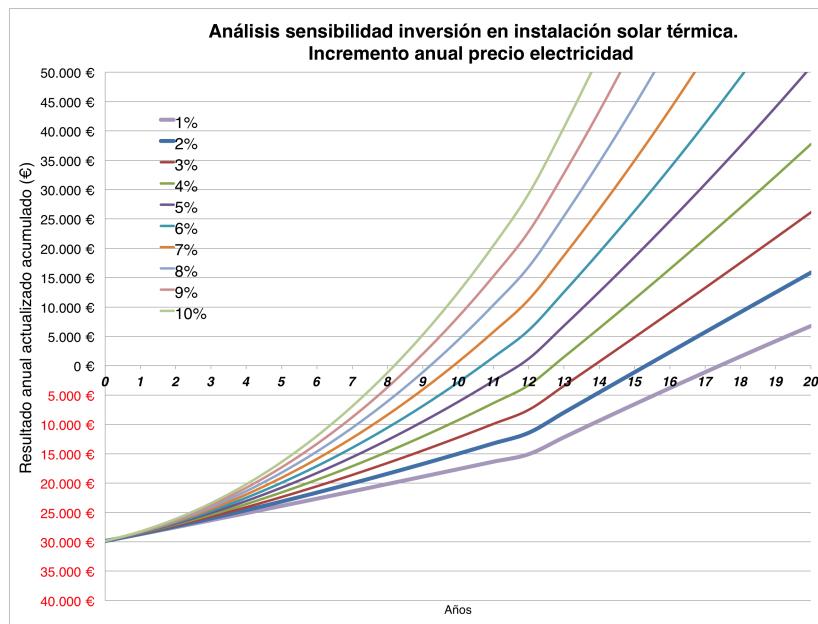


Figura 1.3: Análisis sensibilidad. Instalación solar térmica

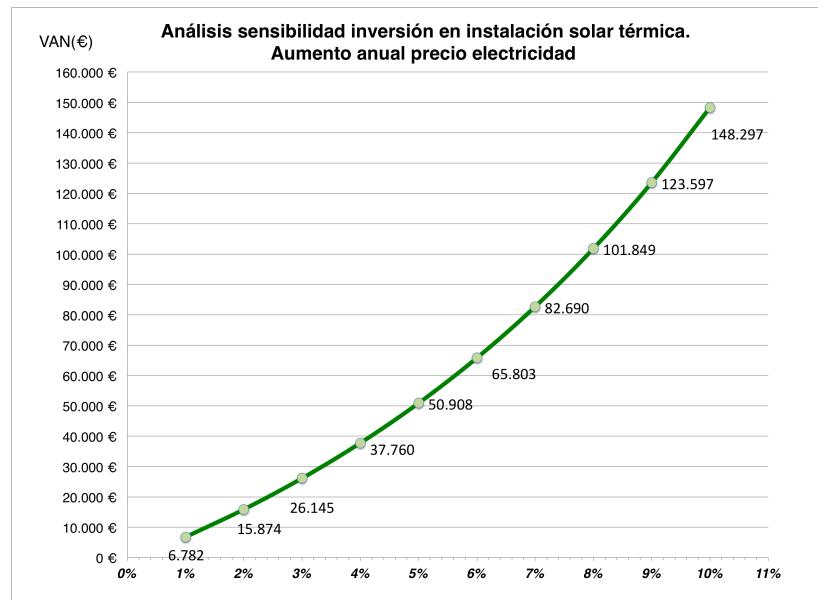


Figura 1.4: Evolución del VAN en el análisis de sensibilidad. Instalación solar térmica

Evaluación económica de la mejora de la envolvente térmica

Financiación

Para la evaluación económica de la inversión en la mejora de la envolvente térmica del edificio, se tiene en cuenta el **Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales PAREER**, del IDAE. La mejora de la envolvente térmica corresponde con la actuación nº1: “*Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica*”, recogida en la convocatoria del programa de ayudas [?]. Para esta actuación en particular, hay disponibles dos ayudas complementarias entre sí.

- 1 Entrega dineraria** sin contraprestación, de hasta al **30 % del coste** elegible de la actuación siendo el **límite máximo, de 3.000 €/vivienda**.
- 2 Préstamo reembolsable** de hasta el **60 % del coste** elegible de la actuación, siendo el **límite máximo, de 6.000 €/vivienda**. El tipo de interés será el del EURIBOR, y el periodo de amortización máximo de 12 años.

Se plantea un escenario inicial, denominado **escenario “ideal”** en el que son concedidas ambas prestaciones. Posteriormente se analizan los casos en que sólo una de las dos ayudas fuera concedida ó no fueran concedidas ninguna de ellas.

La **entrega dineraria** correspondiente al **30 %** de la inversión, corresponde con el importe de:

60.423 €

que resulta inferior al límite máximo, 102.000 €(34 viviendas).

La **financiación** del 60 % restante de la inversión, que en este caso supone un **42 % de la inversión total**. El principal del préstamo será de:

84.592 €

que resulta inferior al límite máximo, 204.000 €(34 viviendas)

La amortización del préstamo se realiza mediante **cuota anual** calculada mediante (1.3), considerando un tipo de interés igual al del EURIBOR, fijado en 0,55 %, el cual se obtiene de la web oficial [?], y un periodo de amortización de 12 años, fijado por el programa como máximo La cuantía de la cuota de amortización será:

7.304 €,

Por último los **fondos propios** en la inversión corresponden con el **28 %** restante y suponen una cuantía de:

56.395 €

Resumen del presupuesto de ejecución material

Para realizar la evaluación económica de la mejora propuesta se parte del presupuesto de ejecución material de la actuación. El resumen de dicho presupuesto se muestra en la tabla 1.4. Para su obtención se hace uso del generador de precios *online* de CYPE [?]. Los importes señalados corresponden con las medición de los conceptos indicados, los cuales se encuentran detallados en *Anexo ??*.

RESUMEN PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		
Nº	CONCEPTO	IMPORTE (€)
1.1	Sistema ROCKWOOL de aislamiento termoacústico y trasdosado autoportante por el interior de cerramientos verticales de fachadas	50.824,8
1.2	Sistema ROCKWOOL de aislamiento termoacústico y trasdosado directo colocado en particiones interiores	19.458,4
1.3	Vidrio doble bajo emisivo 6/12/6 UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA	40.839,3
1.4	Sistema KNAUF INSULATION de aislamiento para suelos	90.288,2
TOTAL		201.411 €

Tabla 1.4: Resumen del presupuesto de ejecución material de la mejora de la envolvente térmica

Aspectos relevantes de los flujos de caja

Para cuantificar los flujos de caja de la evaluación económica de la inversión en la mejora de la envolvente térmica del edificio se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La vida útil de la mejora de la envolvente térmica se fija en 25 años, tomando como referencia que la vida útil de una vivienda de nueva construcción es de 50 años. Será pues el horizonte temporal de la evaluación económica.
- Se considera como “ingreso”, en el flujo de caja, la diferencia entre los gastos en electricidad derivados de la calefacción eléctrica del edificio con la envolvente original y los derivados de la calefacción eléctrica del edificio con la envolvente mejorada.. Por tanto el “ingreso” será el ahorro económico debido a la reducción del consumo de energía final, valorado en términos de electricidad.
- Para cuantificar el ahorro económico en electricidad, se consulta con la comercializadora con mayor presencia en la zona, gasNatural Fenosa, y se toma como referencia la tarifa “Óptima luz”, que tiene asociados un término de energía de 14,0656 ¢/kWh, y un término de potencia mensual de 3,5036 ¢/kW. [?].
- La potencia contratada es de 9,2 kW.
- En cuanto a la evolución del precio de la electricidad, debido a que en los últimos años está sufriendo continuas subidas, directamente, o indirectamente mediante cambios de regulación y política energética, se toma como punto de partida, un 5 % de incremento anual.
- La tasa de descuento que se tiene en cuenta para esta evaluación económica es la correspondiente a la inversión libre de riesgo, que en este caso, se toma como el rendimiento de las obligaciones del Estado Español a 30 años [?], y es igual al 3 %.

Resultados de la evaluación económica

Los resultados de la evaluación económica se indican mediante los parámetros de viabilidad económica: VAN (Valor Actual Neto, de la inversión), TIR (Tasa Interna de Retorno) y Payback (Periodo de recuperación de la inversión), los cuales se reflejan en la tabla 1.5 para el escenario planteado definido como “ideal”.

RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA. ESCENARIO “IDEAL”	
VAN	104.433 €
TIR	9 %
Payback	15 años

Tabla 1.5: Resultados de la evaluación económica de la mejora de la envolvente. Escenario “ideal”

Los resultados económicos para cada uno de los escenarios planteados en la tabla 4.6 se muestran en la tabla 1.6.

RESULTADOS ECONÓMICOS. GENERAL				
Entrega dineraria	Préstamo reembolsable	VAN (€)	TIR (%)	PAYBACK (AÑOS)
Si	Si	104.433	9	16
No	Si	49.105	5	21
Si	No	92.544	7	17
No	No	32.120	4	23

Tabla 1.6: Resultados económicos para cada posibilidad de financiación

La inversión en la mejora de la envolvente térmica es factible en cualquier escenario, pues la inversión inicial se recupera dentro del periodo de vida útil de la inversión. Se observa que los casos más favorables son aquellos en los que se recibe ambas ayudas ó al menos se recibe la dotación económica del 30 % de la inversión.

La evolución de la rentabilidad de la inversión para cada escenario contemplado en la tabla 4.6 se muestra en las figuras 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8.

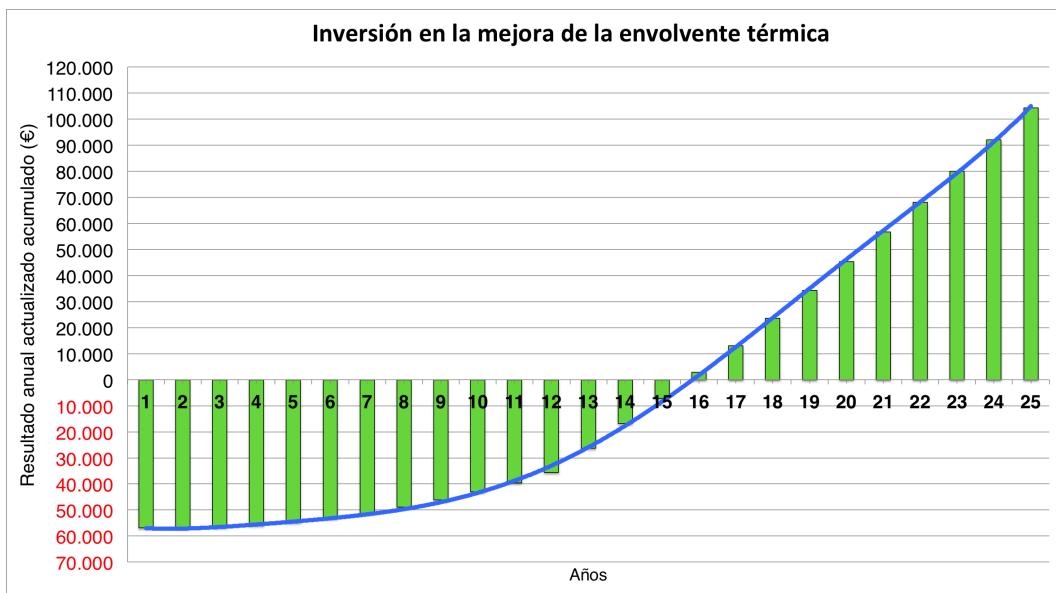


Figura 1.5: Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario “ideal”

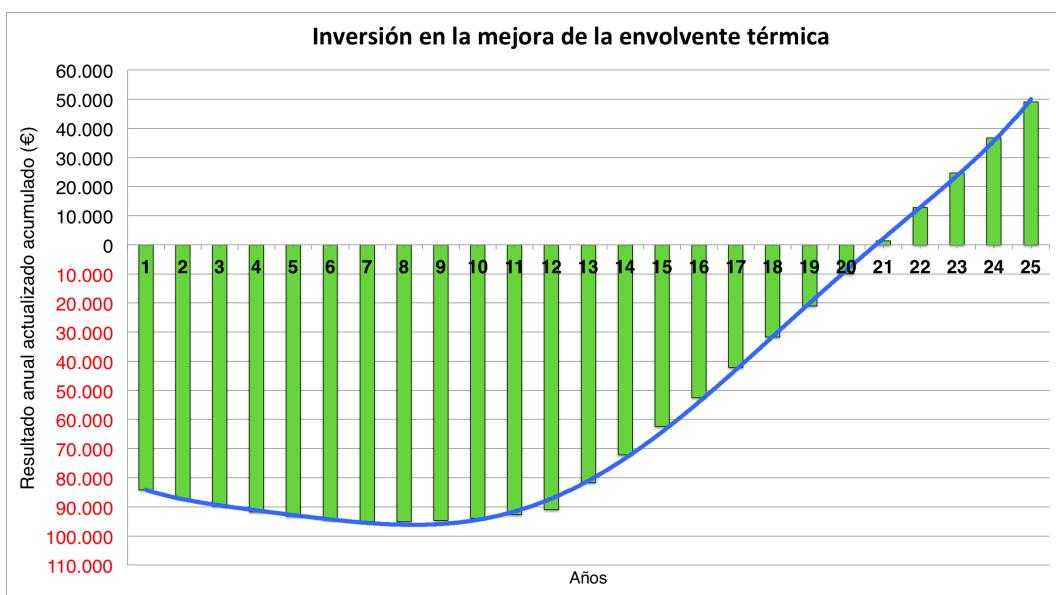


Figura 1.6: Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario con el préstamo

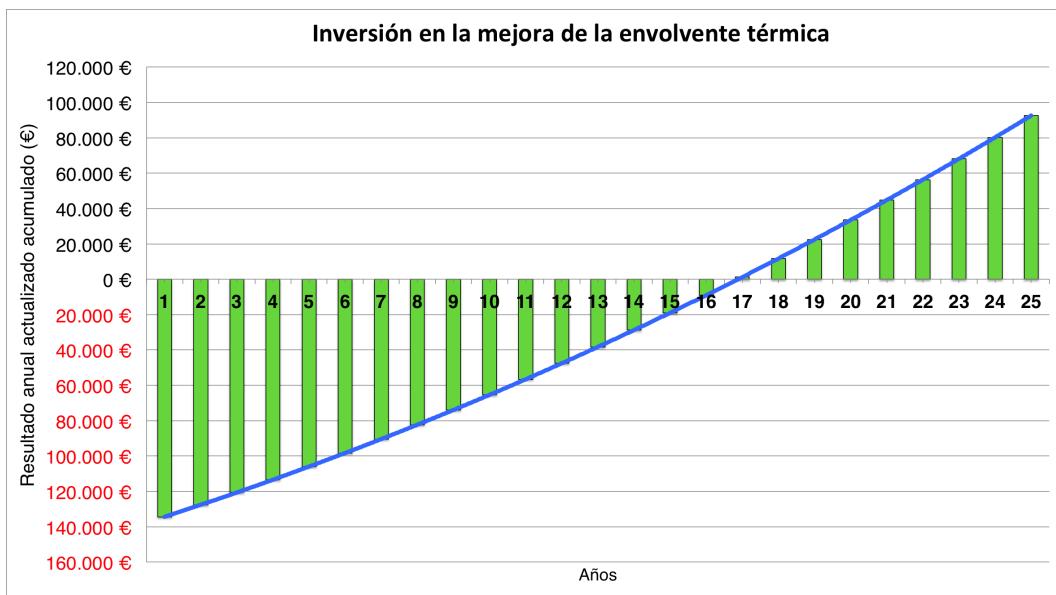


Figura 1.7: Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario con la ayuda

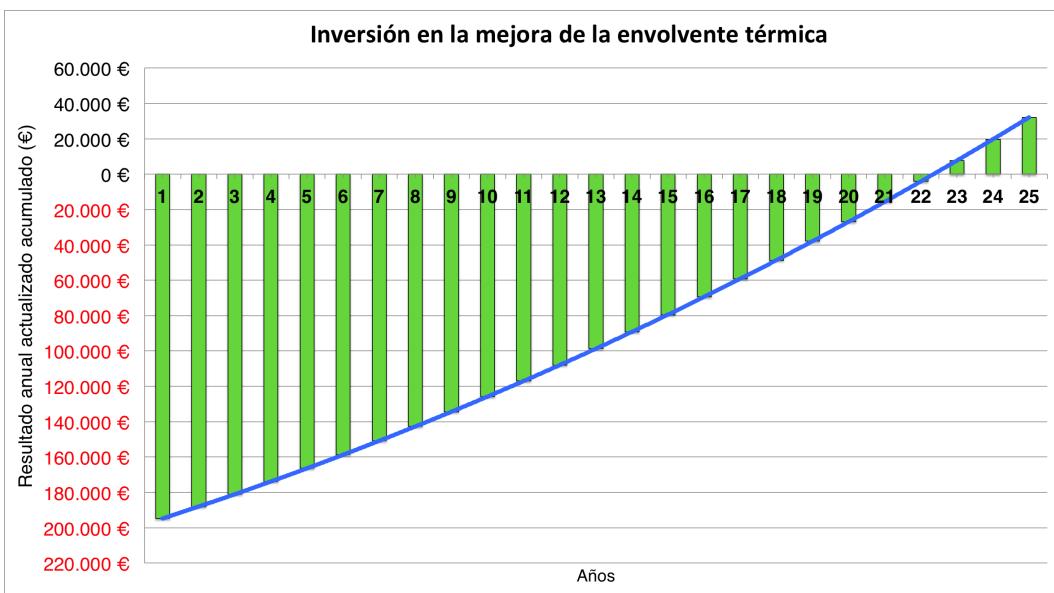


Figura 1.8: Evolución de la rentabilidad de la mejora de la envolvente térmica. Escenario sin ayudas

Análisis de sensibilidad

La tendencia alcista del precio de la electricidad y la inestabilidad de su marco regulatorio invitan a plantear distintos escenarios de evolución del precio de la electricidad.

Es por ello que se realiza un análisis de sensibilidad en torno a este factor. Se realiza bajo la hipótesis en la cual no se consigue ninguna de las prestaciones del programa PAREER. En las figuras 1.9 y 1.10 se representan los resultados del análisis de sensibilidad.

Del análisis de sensibilidad se desprende que la inversión en la mejora de la envolvente térmica es más rentable, cuanto mayor es el incremento del precio de la electricidad, es decir, cuanto mayor es el ahorro económico que se produce, con la reducción de demanda energética.

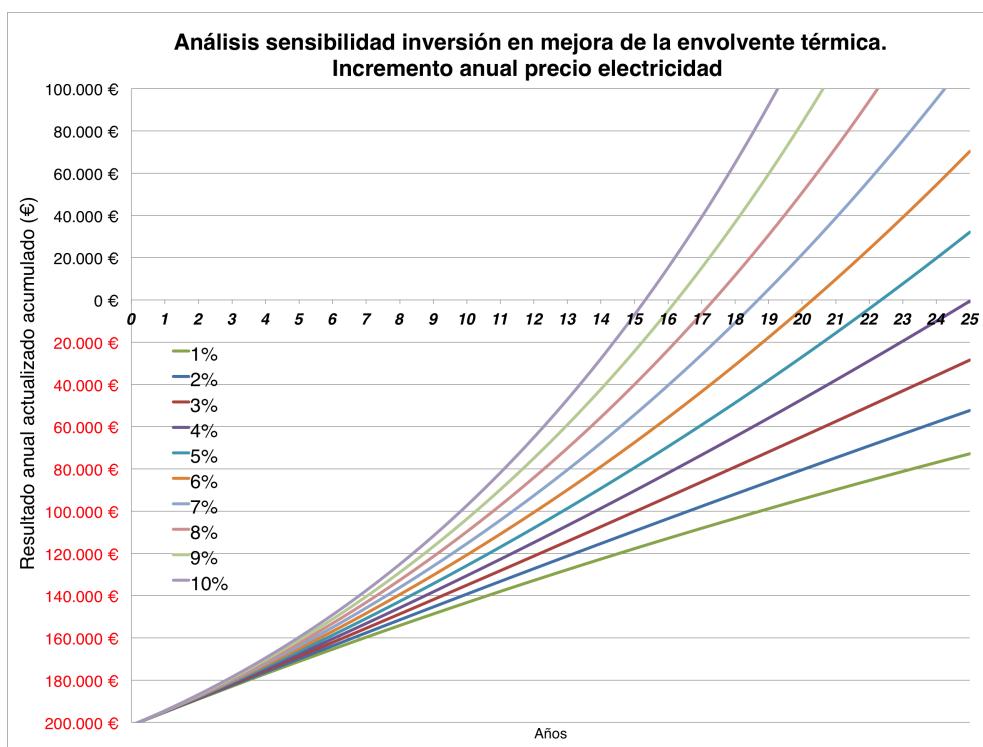


Figura 1.9: Análisis sensibilidad. Mejora de la envolvente térmica

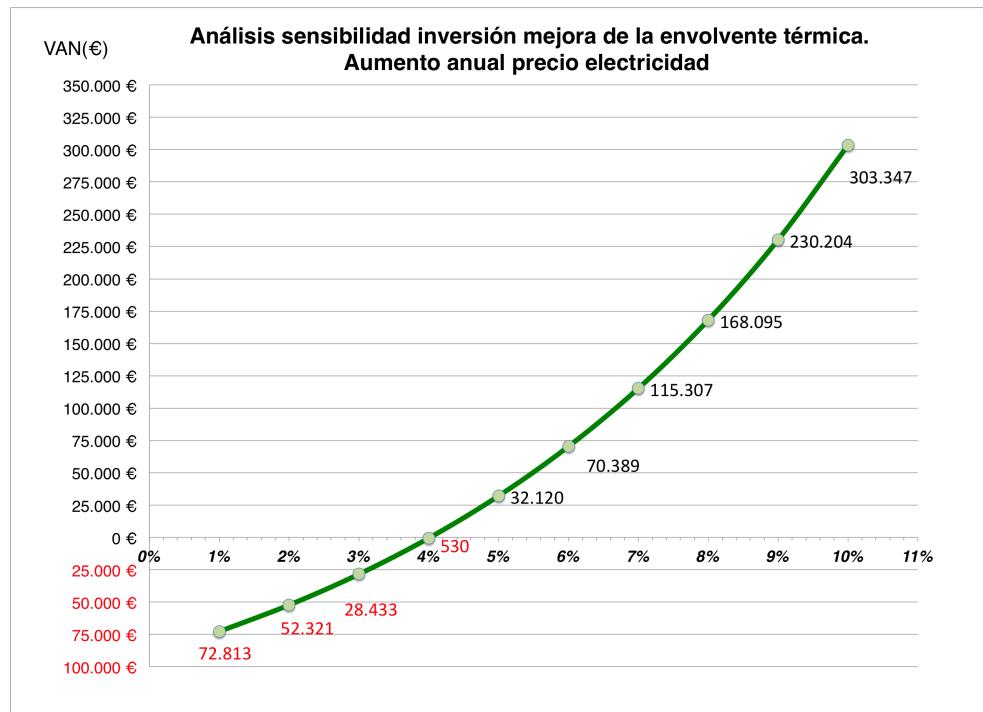


Figura 1.10: Evolución del VAN en el análisis de sensibilidad. Mejora de la envolvente térmica

Evaluación económica de la instalación de aerotermia

Financiación

Para la evaluación económica de la inversión en la instalación de aerotermia se tiene en cuenta el **Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales, (PAREER)** del IDAE.

La propuesta que se pretende llevar a cabo, corresponde con la actuación N°2: “*Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación*”, en particular con el caso C2: ‘*Sustitución de equipos de generación de calor y/o frío, por otros de alta eficiencia energética, incluyendo las soluciones de aerotermia e hidrotermia*’. Dicha actuación viiene recogida en la convocatoria del programa de ayudas PAREER. [?].

La ayuda consiste en la concesión de un **préstamo reembolsable** de hasta el **90 % del coste elegible** de la actuación.

El **importe máximo** del préstamo depende de la **potencia térmica del generador**, y está definido por la expresión (1.4).

$$2070 \times P^{0,62}; \quad P \text{ (kW)} \quad (1.4)$$

Dado el carácter individual de la instalación, se puede abordar el estudio económico desde dos puntos de vista:

- **Constructor/promotor.** Solicita la ayuda para aumentar la eficiencia energética de las viviendas.
- **Propietario individual de la vivienda.** Solicita la ayuda de forma individual.

Desde el punto de vista del constructor/promotor, el importe de la inversión corresponde con el total de la misma, mientras que, desde el punto de vista del propietario individual, corresponde con el importe de ejecución de su instalación individual, el cual se tomará como el importe medio por vivienda.

El **tipo de interés del préstamo** y el **periodo máximo de amortización** son fijados en la convocatoria del programa. El tipo de interés del préstamo será el del EURIBOR, que se toma de [?] y se fija en **0,55 %**, mientras que el periodo de amortización será de **12 años**.

La **amortización** del préstamo se realizará mediante **cuota anual**, la cual se determina mediante (1.3), al igual que se hizo en 4.2 y 4.3.

Resumen del presupuesto de ejecución material

Para llevar a cabo una valoración económica de la mejora propuesta y decidir sobre su viabilidad, es preciso elaborar el presupuesto de ejecución material de la instalación. En la tabla 1.7 se muestra un resumen del presupuesto de ejecución material para la instalación propuesta obtenido del generador de precios de CYPE, mediante la herramienta informática *Arquímiedes*. En dicho resumen los importes corresponden con la cuantificación de las mediciones efectuadas. El presupuesto de ejecución material se encuentra desarrollado en *Anexo ??*.

RESUMEN PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		
Nº	CONCEPTO	IMPORTE (€)
1.1	Colector modular plástico de 1"de diámetro modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 6 circuitos	2.853,68
1.2	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 7 circuitos	1.540,06
1.3	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 8 circuitos	8.438,00
1.4	Colector modular plástico de 1"de dia?metro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 9 circuitos	9.004,20
1.5	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 10 circuitos	7.656,24
1.6	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPO-NOR IBERIA	5.007,33
1.7	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPO-NOR IBERIA	103.355,06
1.8	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	2.770,32
1.9	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	1.468,94
1.10	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	7.763,60
1.11	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	8.182,50
1.12	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	6.881,04
1.13	Grupo de impulsión para control de la bomba de circulación y de la humedad	63.867,98
1.14	Punto de llenado de red de distribución de agua, para sistema de climatización	2.805,34
1.15	Tubería interior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	68,28
1.16	Tubería interior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	4.616,87
1.17	Tubería interior de polietileno reticulado (PE-X), de 40 mm de diámetro exterior	972,47
1.18	Tubería exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	324,23
1.19	Tubería exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	2.330,30
1.20	Tubería exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 40 mm de diámetro exterior	387,44
1.21	Punto de vaciado de red de distribución de agua, para sistema de climatización	787,44
1.21	Válvula de 3 vías de 1/2", mezcladora, con actuador de 220 V	5.697,72
1.21	punto de vaciado de red de distribución de agua, para sistema de climatización	787,44
1.21	Bomba de calor reversible, aire-agua, modelo Logatherm WPL 7 ARm BUDERUS	188.671,10
TOTAL		435.450,14 €

Tabla 1.7: Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de aerotermia

Evaluación de la inversión

Aspectos relevantes de la evaluación económica

Para la cuantificación de los flujos de caja en la evaluación económica de la inversión en la instalación de aerotermia, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La vida útil de la instalación de aerotermia y suelo radiante se fija en 20 años. Por tanto éste será el horizonte temporal de la evaluación económica.[?]
- Se considera como “ingreso” en el flujo de cajas, la diferencia entre los gastos en electricidad anuales que tendría el edificio del caso base, y los gastos en electricidad que tendría la instalación de aerotermia y suelo radiante. Es decir, los “ingresos”, corresponden con el ahorro económico debido al cambio de sistema.
- Para cuantificar los consumos de electricidad se consulta a la compañía comercializadora con mayor presencia en la zona, gasNatural fenosa, y se toma como referencia la tarifa “Óptima luz”, con un término de energía de 14,0656 ¢€/kWh , y un término de potencia mensual de 3,5036 €/kW sin discriminación horaria. La potencia contratada será de 9,2 kW [?].
- La electricidad en los últimos años está sufriendo continuas subidas de precio directamente, o indirectamente mediante cambios de regulación y política energética. La tendencia alcista del precio de la electricidad y la inestabilidad de su marco regulatorio invitan a plantear distintos escenarios de evolución del precio de la electricidad. Como punto de partida se tomará un 5% de incremento anual del precio de la electricidad.
- La potencia eléctrica contratada será de 9,2 kW.
- La tasa de descuento, que se tiene en cuenta para esta evaluación económica es la correspondiente a la inversión libre de riesgo, que en este caso, se toma como el rendimiento de las obligaciones del Estado Español a 20 años [?].

Resultados de la evaluación económica. Con financiación

Los resultados de la evaluación económica bajo las condiciones especificadas anteriormente, se muestran a continuación. Los resultados mostrados son el valor de los indicadores de viabilidad económica: VAN (Valor Actual Neto de la inversión), TIR (Tasa Interna de Retorno, mínima rentabilidad exigible); y Payback (Periodo de recuperación de la inversión inicial)

En la tabla 1.8 se muestran el valor de los indicadores de viabilidad económica obtenidos para el caso del promotor/constructor que consigue la financiación, y en la tabla 1.9, se muestran los indicadores de viabilidad económica para el caso del propietario individual que decide acometer implementar la instalación en su vivienda.

Se observa que la inversión con financiación **NO** es viable, pues no se recupera la inversión en el periodo de vida útil (20 años).

EVALUACIÓN ECONÓMICA AEROTERMIA. CONSTRUCTOR/PROMOTOR	
VAN	-73.986 €
TIR	1 %
Payback	No se recupera la inversión

Tabla 1.8: Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Constructor/promotor. Con financiación

EVALUACIÓN ECONÓMICA AEROTERMIA. PROPIETARIO INDIVIDUAL	
VAN	-1.433 €
TIR	1 %
Payback	No se recupera la inversión

Tabla 1.9: Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Propietario individual. Con financiación

En las figuras 1.11 y 1.12 se representan la evolución del flujo de caja acumulado y actualizado al año “cero”, para cada caso planteado.

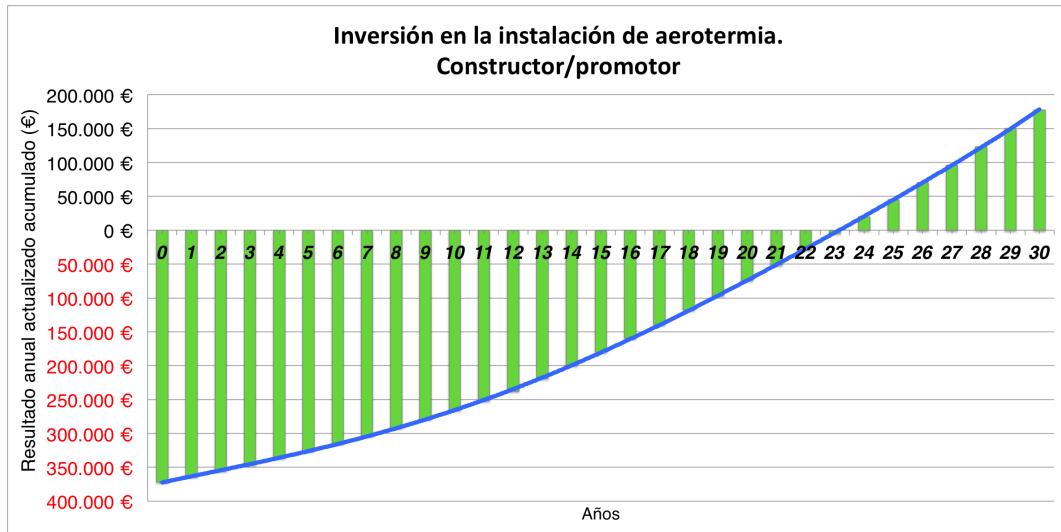


Figura 1.11: Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Constructor/promotor. Con financiación

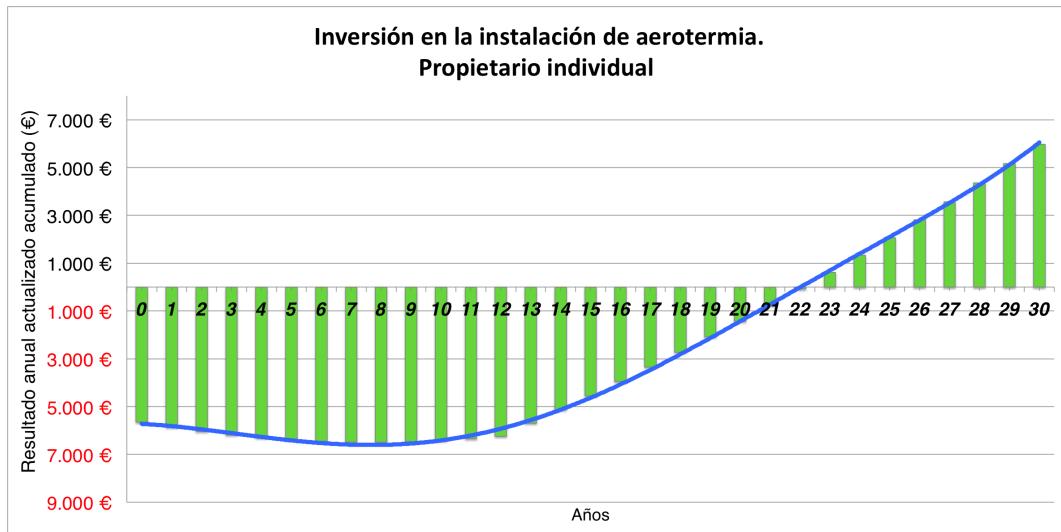


Figura 1.12: Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Propietario individual. Con financiación

Resultados de la evaluación económica. Sin financiación

Con objeto de considerar todas las posibilidades, se realiza el estudio suponiendo que no se recibe la ayuda en forma de financiación por parte del programa PAREER, de forma que la inversión debe ser afrontada con fondos propios al 100 %. Esta situación, hace prácticamente imposible el desarrollo de la propuesta de mejora, debido a la actual crisis económica.

En la tabla 1.10 se muestran los indicadores de viabilidad económica obtenidos para el caso del promotor/constructor, y en la figura 1.9 se muestran los indicadores de viabilidad económica para el caso del propietario individual.

Se observa que la inversión sin financiación **NO** es viable, pues no se recupera la inversión en el periodo de vida útil (20 años).

EVALUACIÓN ECONÓMICA AEROTERMIA. CONSTRUCTOR/PROMOTOR	
VAN	-82.944 €
TIR	1 %
Payback	No se recupera la inversión

Tabla 1.10: Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Constructor/promotor. Sin financiación

EVALUACIÓN ECONÓMICA AEROTERMIA. PROPIETARIO INDIVIDUAL	
VAN	-2.440 €
TIR	1 %
Payback	No se recupera la inversión

Tabla 1.11: Resultados evaluación económica de la instalación de aerotermia. Propietario individual. Sin financiación

En las figuras 1.13 y 1.14 se representan los flujos de cajas actualizados acumulados para cada caso planteado.

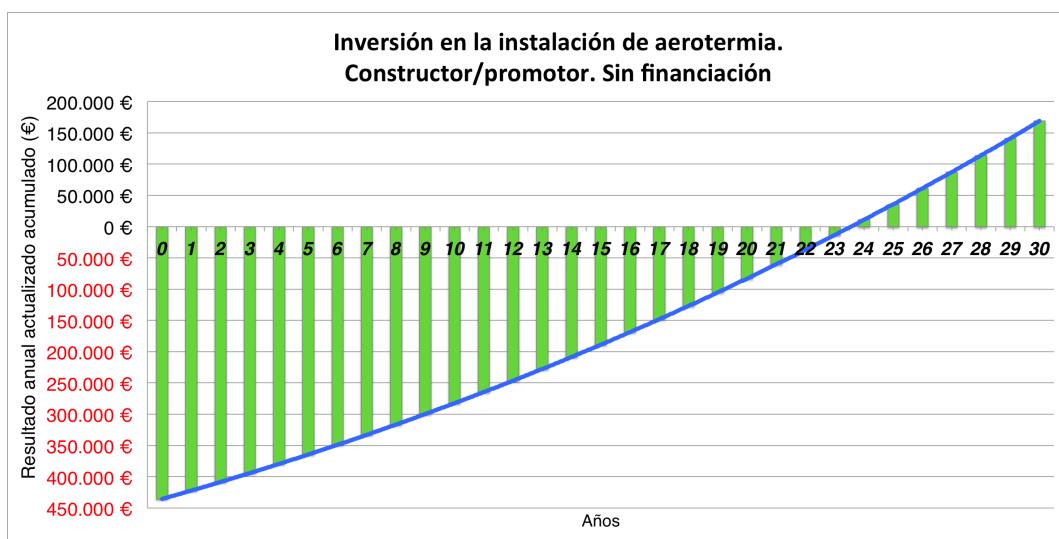


Figura 1.13: Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Constructor/promotor. Sin Financiación

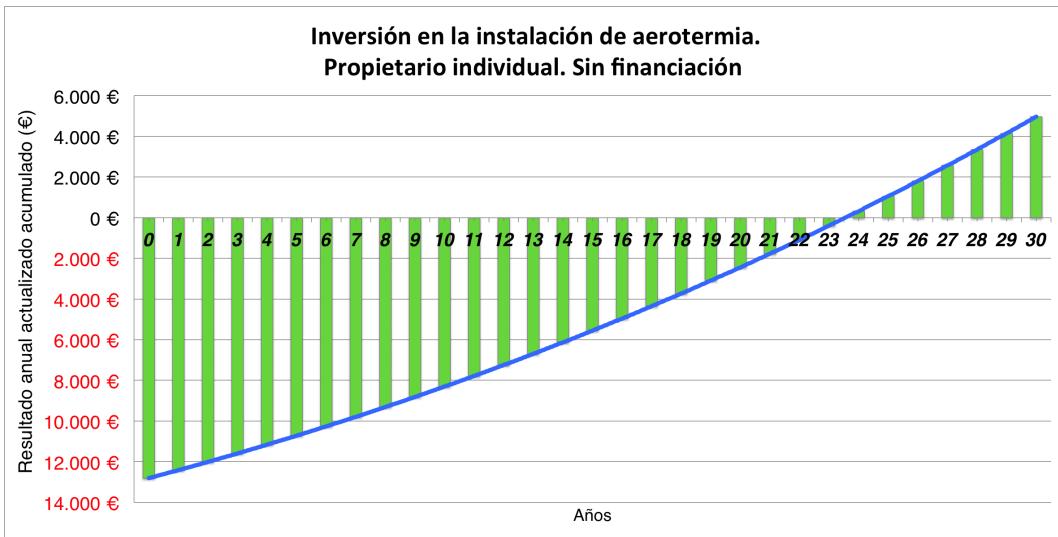


Figura 1.14: Evolución rentabilidad de la inversión en aerotermia. Propietario individual. Sin Financiación

Análisis de sensibilidad de la inversión

Teniendo en cuenta que el precio de la electricidad es un factor crítico en esta inversión y que en los últimos años está sufriendo continuas subidas de precio directamente, o indirectamente mediante cambios de regulación y política energética, se hace imprescindible efectuar un análisis de sensibilidad de la inversión entorno a este factor.

Considerando que la financiación del programa PAREER es conseguida, y dejando el resto de factores constantes, se realiza una estudio recorriendo cada uno de los escenarios posibles de evolución al alza del precio de la electricidad, comenzando desde un 1% hasta terminar en un 10%.

La evolución de los flujos de cajas, en cada caso se representa en las figuras 1.15 y 1.16, y la evolución del Valor Actual Neto (VAN), en las figuras 1.17 y 1.18

Se aprecia que, en un hipotético pero posible, escenario de elevado crecimiento anual del precio de la electricidad (10%-7%), la inversión en la instalación de aerotermia puede llegar a ser rentable, para este caso en particular.

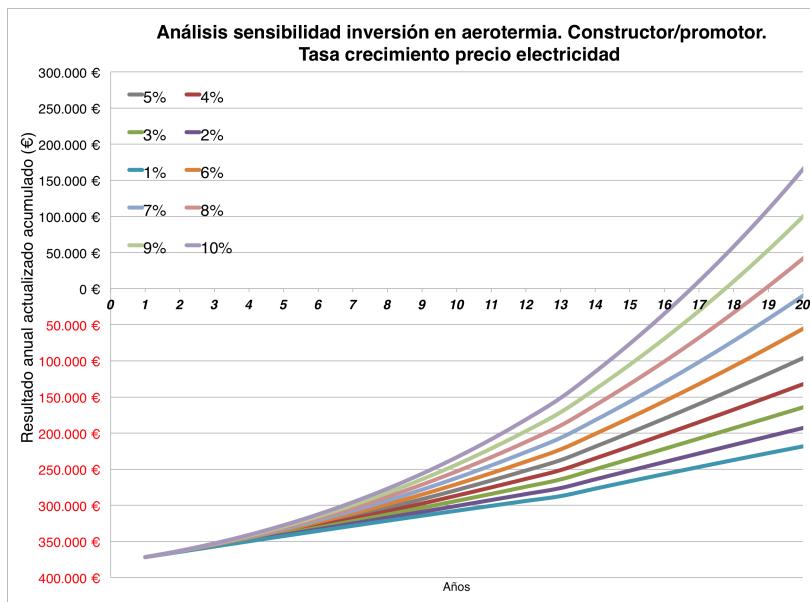


Figura 1.15: Análisis de sensibilidad de la inversión en aerotermia al incremento anual del precio de electricidad

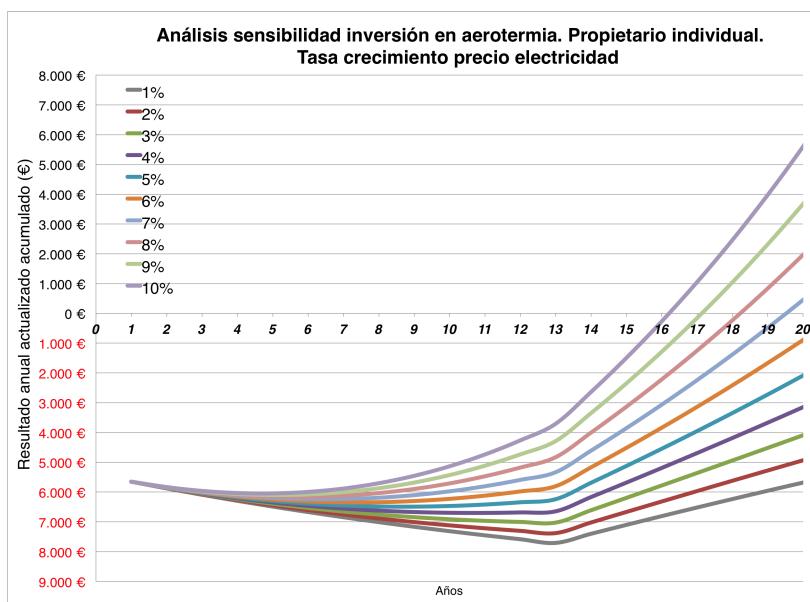


Figura 1.16: Análisis de sensibilidad de la inversión en aerotermia al incremento anual del precio de electricidad

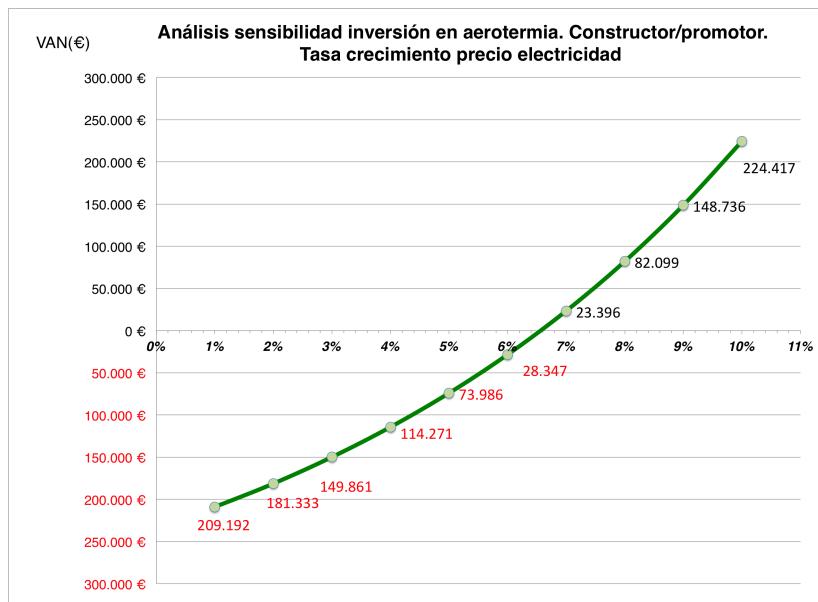


Figura 1.17: Evolución del VAN en función del incremento anual del precio de electricidad

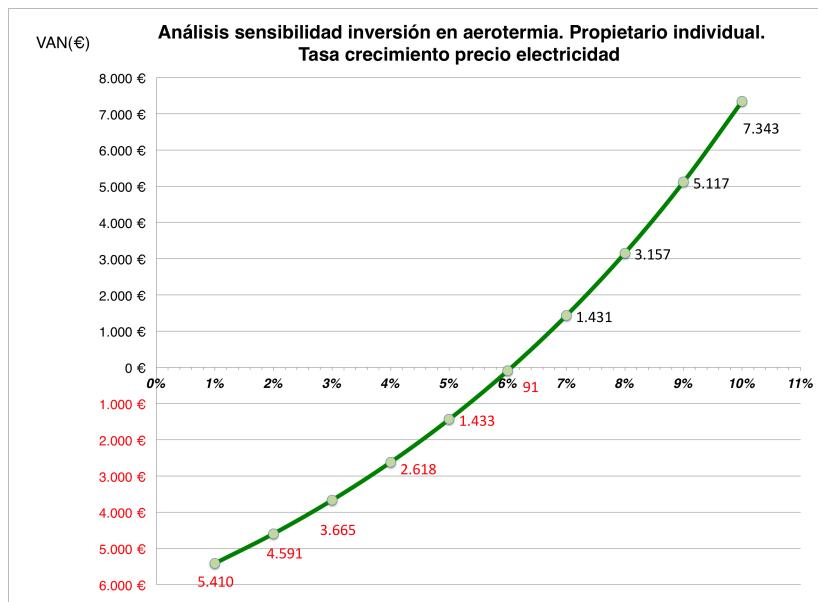


Figura 1.18: Evolución del VAN en función del incremento anual del precio de electricidad

Evaluación económica de la instalación de biomasa

Financiación

Para la evaluación económica de la inversión en la instalación de calefacción y ACS centralizada de biomasa y suelo radiante, se tiene en cuenta el punto de vista del constructor/ promotor que desea ejecutar la instalación en el edificio objeto de estudio. Se descarta por tanto el estudio desde el punto de vista del propietario individual de una vivienda, que se realizó en 4.4, ya que la mejora propuesta es de carácter centralizado.

Se tiene en cuenta el **Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales, (PAREER)** del IDAE.

La instalación propuesta corresponde con la actuación Nº 3: “*Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas*”, en concreto con el caso B1: “*Instalaciones de generación de agua caliente sanitaria y/o calefacción en un edificio*”, la cual se encuentra detallada en la convocatoria del programa [?]

La ayuda mencionada, consiste en un **préstamo reembolsable** de hasta el **50 % del coste elegible** de la actuación. El **importe máximo** del préstamo es definido en función de la **potencia térmica del equipo generador**, y viene dado por la expresión (1.5).

$$440 \times P^{0,87}; \quad P(kW) \quad (1.5)$$

Ya que la cantidad correspondiente al 50 % del coste elegible de la actuación, supera el importe máximo a financiar, definido por (1.5), será el importe definido por (1.5) , el considerado como principal del préstamo.

En la convocatoria del programa se fijan el **tipo de interés** de la financiación y el **periodo máximo de amortización**. El tipo de interés será igual al del EURIBOR, que se obtiene de [?] y será **0,55 %**. El periodo de amortización será de **12 años**.

La **amortización** del préstamo se realizará mediante **cuota anual**, calculada mediante (1.3).

Los resultados del cálculo de la financiación se muestran en la tabla 1.12

FINANCIACIÓN PAREER. INSTALACIÓN DE BIOMASA		
Principal del préstamo	44.193 €	14 %
Fondos propios	280.158 €	86 %
Cuota amortización anual	3.816€	1,2 %

Tabla 1.12: Financiación PAREER para la instalación de biomasa

Resumen del presupuesto de ejecución material

Para llevar a cabo la valoración económica de la mejora propuesta y decidir sobre su viabilidad es preciso elaborar el presupuesto de ejecución material de la instalación.

En la tabla 1.13 se muestra un resumen el presupuesto de ejecución material para la instalación propuesta, obtenido mediante el generador de precios de CYPE, en la herramienta informática *Arquímedes*. En dicho resumen los importes corresponden con las mediciones efectuadas. El presupuesto de ejecución material se encuentra desarrollado en *Anexo ??*.

RESUMEN PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		
Nº	CONCEPTO	IMPORTE (€)
1.1	Colector modular plástico de 1"de diámetro modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 6 circuitos	2.853,68
1.2	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 7 circuitos	1.540,06
1.3	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 8 circuitos	8.438,00
1.4	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 9 circuitos	9.004,20
1.5	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 10 circuitos	7.656,24
1.6	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPONOR IBERIA	5.007,33
1.7	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPONOR IBERIA	103.355,06
1.8	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	2.770,32
1.9	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	1.468,94
1.10	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	7.763,60
1.11	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	8.182,50
1.12	Sistema de regulación de la temperatura digital via cable a 24V UPONOR IBERIA	6.881,04
1.13	Grupo de impulsión para control de la bomba de circulación y de la humedad	63.867,98
1.14	Caldera de combustión pellets "Firematic" 201 T-Control HERZ, 54,8-201,0 kW	40.310,22
1.15	Sistema de alimentación de pellets para caldera "Firematic" 201 T-Control HERZ	1.920,48
1.16	Depósito de superficie para pellets, de tejido sintético, con estructura y tolva de acero, de 3,2 t de capacidad	2.415,17
1.17	Punto de llenado de red de distribución de agua	217,70
1.18	Tubería en interior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	1.681,43
1.19	Tubería en interior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	14.904,70
1.20	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	572,42
1.21	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	7.712,80
1.22	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 40 mm de diámetro exterior	155,21
1.23	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 50 mm de diámetro exterior	1.072,33
1.24	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 63 mm de diámetro exterior	2.344,47
1.25	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 75 mm de diámetro exterior	3.596,57

1.26	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 90 mm de diámetro exterior	2.564,23
1.27	Punto de vaciado de red de distribución de agua 25 mm diámetro exterior	1.574,88
1.28	Punto de vaciado de red de distribución de agua 32 mm diámetro exterior	36,21
1.29	Bomba circuladora de rotor húmedo, In-Line, modelo “Etherma” 5-120-2 EBARA	2.926,15
1.30	Bomba circuladora de rotor húmedo, In-Line, modelo “Etherma” 5-120-2 EBARA	2.926,15
1.31	Acumulador de inercia, de suelo, modelo “PUB” 3000 HERZ, capacidad 3000 l,	4.122,82
1.32	Válvula de 3 vías de 1/2”, mezcladora, con actuador de 220 V	167,58
1.33	Purgador automático de aire, para una presión y temperatura máxima de trabajo de 6 bar y 110 °C	630,36
1.34	Contador de agua para calefacción de chorro único, temperatura máxima de líquido 120°C,	3.636,16
TOTAL		324.350,21 €

Tabla 1.13: Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de biomasa

Evaluación de la inversión

Aspectos relevantes de la evaluación económica

La cuantificación de los flujos de caja en la evaluación económica de la inversión en la instalación de biomasa, se realizan bajo los siguientes parámetros:

- Se considera que el periodo de vida útil de la inversión es de 20 años.
- Se considera como “ingreso”, la diferencia entre los gastos anuales, en electricidad para calefacción y ACS del edificio del caso base (“calor azul” para calefacción y termo eléctrico para ACS) y los gastos anuales en combustible pellets para calefacción y ACS, del edificio con la instalación de biomasa. Es decir se considera como “ingreso” el ahorro económico obtenido con el cambio de sistema.
- Para valorar el gasto en electricidad, se consulta con la compañía comercializadora con mayor presencia en la zona, gasNatural fenosa, y se toma como referencia la tarifa “Optima luz”, que tiene asociado un término de energía de 14,0656 ¢€/kWh, y un término de potencia mensual de 3,5036 €/kW. [?].
- La potencia eléctrica contratada es de 9,2 KW.
- Se consideran como gastos, los derivados del mantenimiento de la instalación, y los gastos de financiación (cuota anual préstamo). Los gastos asociados al combustible pellet ya se han tenido en cuenta al valorar los ingresos.
- Para cuantificar el consumo de combustible, se considera un poder de combustión inferior (PCI) del pellet de 4500 kcal/kg, tomado como referencia a partir de [?].
- El rendimiento medio estacional de la caldera de biomasa, empleado en el cálculo del consumo de combustible para satisfacer las necesidades de calefacción y ACS, es igual al 93 %.
- Se toma como referencia, un precio de suministro de pellets, en formato a granel, de 273,86 €/tonelada, tomado como referencia a partir de [?], bajo las condiciones especificadas. El precio incluye el transporte de hasta 200 km. Como el precio del pellet, es un factor crítico, en la

viabilidad de la inversión, se realizará un análisis de sensibilidad para determinar, en qué margen de seguridad la inversión sería viable.

- Debido a las continuas subidas del precio de la electricidad en los últimos años, debido tanto a cambios de regulación como de política energética, se considera un incremento anual del precio de la electricidad del 5 %.
- La tasa de descuento que se tiene en cuenta para esta evaluación económica es la correspondiente a la inversión libre de riesgo, que en este caso, se toma como el rendimiento de las obligaciones del Estado Español a 20 años, el 3 %. [?].

Resultados de la evaluación económica. Con financiación

En la tabla 1.14 se muestran los valores de los indicadores de viabilidad económica obtenidos de la evaluación económica, bajo las condiciones expuestas anteriormente.

EVALUACIÓN ECONÓMICA INSTALACIÓN BIOMASA	
VAN	245.713 €
TIR	9 %
Payback	13 años

Tabla 1.14: Evaluación económica de la inversión en la instalación de biomasa. Con financiación

En la figura 1.19 se muestra la evolución de los flujos de cajas actualizados al año cero y acumulados a lo largo de la vida útil de la instalación.

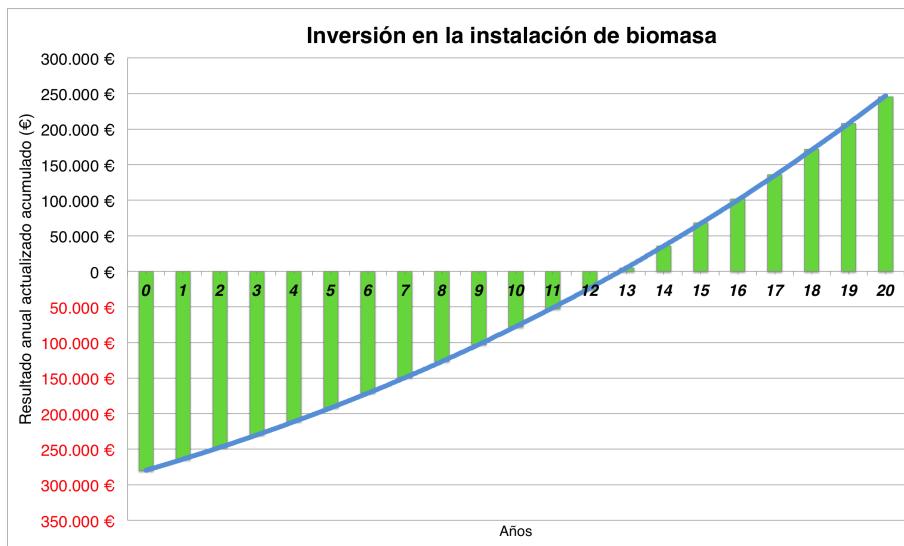


Figura 1.19: Evolución de la rentabilidad de la inversión en la instalación de biomasa. Con financiación

Resultados de la evaluación económica. Sin financiación

En el caso de que no fuera concedido el préstamo, y la inversión tuviera que ser afrontada con fondos propios al 100 %, la rentabilidad se vería disminuida, pero seguiría siendo viable. En la tabla 1.15 se muestran los valores de los indicadores de viabilidad económica obtenidos para este caso. Se observa que no es determinante en la inversión la obtención del préstamos PAREER.

EVALUACIÓN ECONÓMICA INSTALACIÓN BIOMASA	
VAN	239.502 €
TIR	8 %
Payback	14 años

Tabla 1.15: Evaluación económica de la inversión en la instalación de biomasa. Sin financiación

En la figura 1.20 se muestra la evolución de los flujos de cajas actualizados y acumulados a lo largo de la vida útil de la instalación.

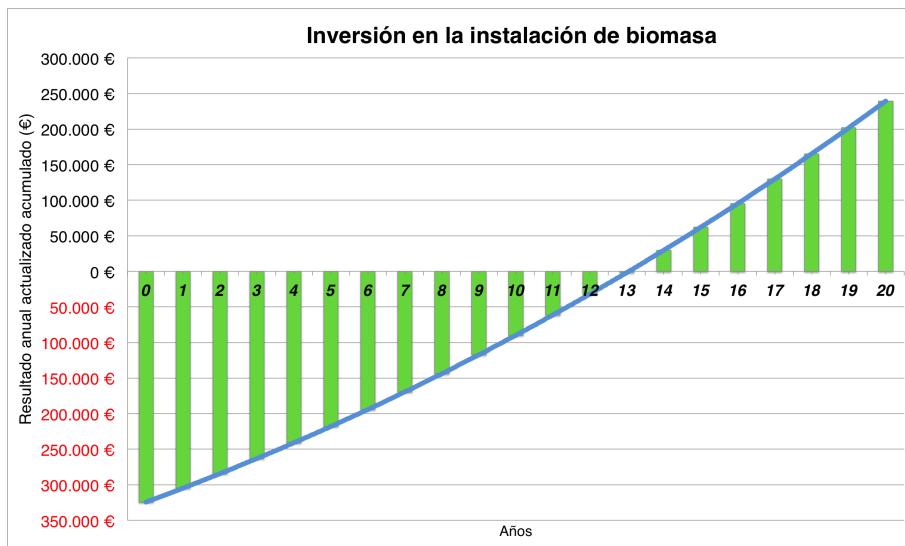


Figura 1.20: Evolución de la rentabilidad de la inversión en la instalación de biomasa. Sin financiación

Análisis de sensibilidad

Ya que los dos factores más condicionantes de la viabilidad de la inversión son la evolución de los precios energéticos, electricidad y pellet e este caso, se realiza un análisis de sensibilidad de la inversión en torno a estos dos factores

En las figuras 1.21 y 1.22 se muestran la evolución de los flujos de cajas actualizados al año cero y acumulados para cada uno de los escenarios propuestos de incremento de precio de pellets y de electricidad, respectivamente.

Al realizar la modificación de un parámetro, el resto de ellos se han mantenido constantes, para estudiar su influencia sobre la rentabilidad de la inversión.

El estudio de sensibilidad se ha realizado teniendo en cuenta que la financiación del programa PAREER es conseguida.

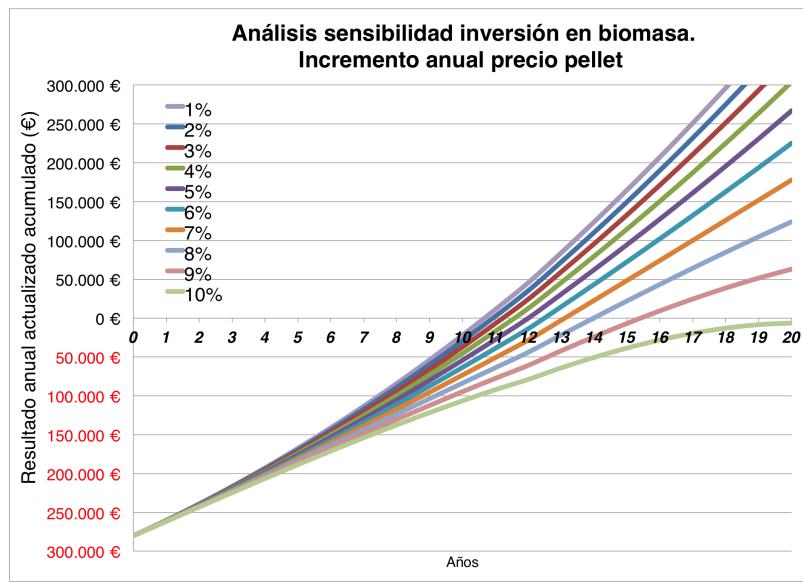


Figura 1.21: Análisis de sensibilidad al incremento anual del precio del pellet. Flujos de Caja

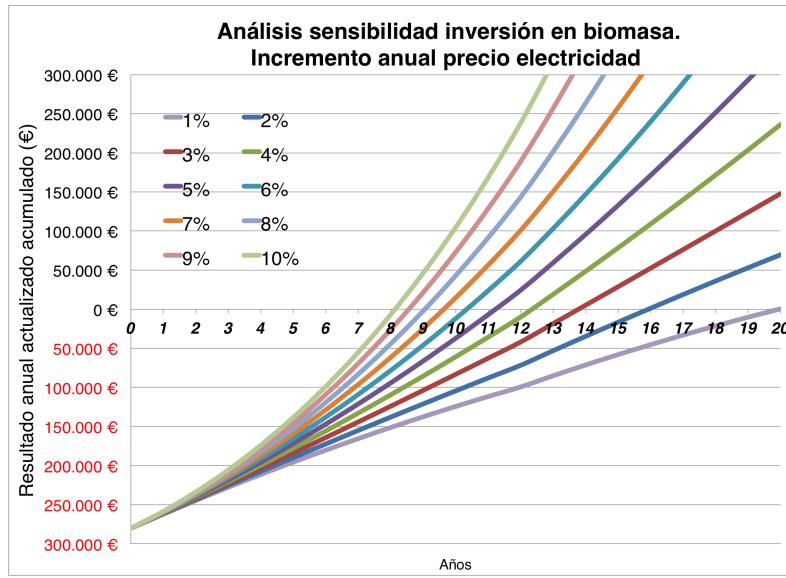


Figura 1.22: Análisis de sensibilidad al incremento del precio de electricidad. Flujos de Caja

En las figuras 1.23 y 1.24 se muestran la evolución del Valor Actual Neto de la inversión para los casos considerados del análisis de sensibilidad.

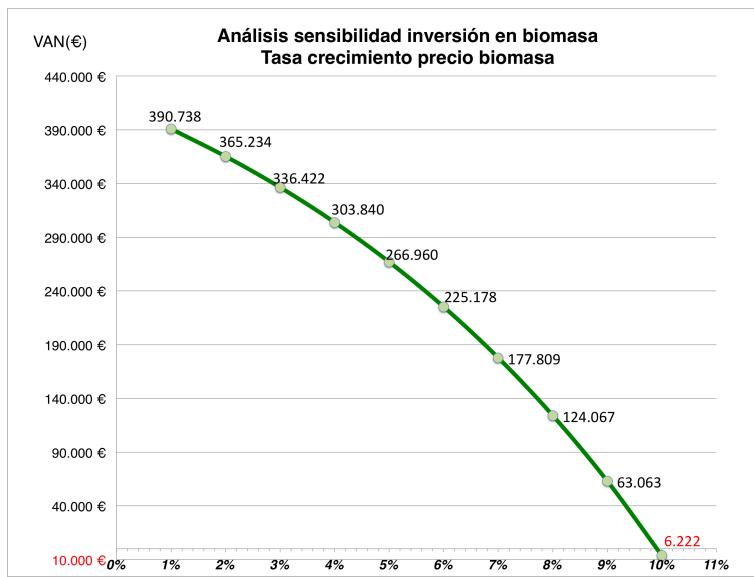


Figura 1.23: Análisis de sensibilidad al incremento anual del precio del pellet. Evolución del VAN

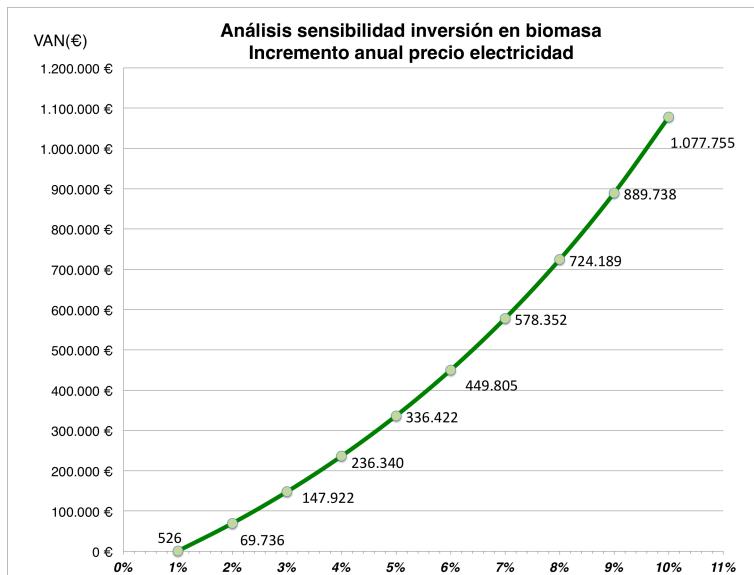


Figura 1.24: Análisis de sensibilidad al incremento del precio de electricidad. Evolución del VAN

Se deduce del análisis, que en un escenario, en el que, el crecimiento anual del precio del pellet se mantenga acotado (1-5 %), y en el que el precio de la electricidad siga una tendencia alcista ($> 5\%$) la inversión en la instalación de biomasa es mucho más rentable que la instalación de calor azul y termo eléctrico.

Evaluación económica de la instalación de gasóleo

Financiación

Para realizar la evaluación económica de la instalación de gasóleo, se tiene en cuenta el **Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Residenciales, (PAREER)**, del IDAE. La instalación propuesta corresponde con la actuación N°2: “*Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas*”, en concreto con el caso C1: “*Reforma de la sala de calderas para producción de calefacción y/o agua caliente sanitaria*”. Dicha actuación viene recogida en la convocatoria del programa de ayudas [?]

Se tomará el punto de vista del constructor/promotor que lleva a cabo la actuación, al tratarse de una instalación de tipo centralizado.

La ayuda para esta actuación consiste en un **préstamo reembolsable** de hasta el **90 % del coste elegible** de la actuación. El **importe máximo** del préstamo está definido en función de la **potencia térmica** del equipo generador por la expresión 1.6.

$$2070 \times P^{0,62}; \quad P(kW) \quad (1.6)$$

En la convocatoria del programa se fijan el **tipo de interés de la financiación** y el **periodo máximo de amortización** del mismo. El tipo de interés del préstamo, según la convocatoria del programa, será igual al del EURIBOR, el cual se toma igual a **0,55 %**, obtenido de la web oficial [?]. El periodo máximo de amortización será de **12 años**.

La **amortización** se realizará mediante pago de **cuota anual**, cuya cuantía se determina mediante la expresión (1.3).

Los resultados del cálculo de la financiación se muestran en la tabla 1.16

FINANCIACIÓN PAREER. INSTALACIÓN DE GASÓLEO		
Principal del préstamo	55.285 €	19 %
Fondos propios	232.542 €	81 %
Cuota amortización anual	4.773€	1,7 %

Tabla 1.16: Resultados del cálculo del préstamo PAREER para la instalación de gasóleo

Resumen del presupuesto de ejecución material

Para valorar económicoamente, la propuesta de instalación de gasóleo para calefacción y ACS, y decidir sobre su viabilidad económica, se elabora el presupuesto de ejecución material de la instalación, mediante el software *Arquímides*, utilizando el generador de precios de CYPE.

En la tabla 1.17 se muestra un resumen del presupuesto de ejecución material, donde los importes corresponden con la cuantificación de las mediciones realizadas de cada concepto, las cuales se encuentran recogidas en *Anexo ??*.

RESUMEN PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		
Nº	CONCEPTO	IMPORTE (€)
1.1	Caldera de baja temperatura a gasóleo, "Logano" GE315 BUDE-RUS, potencia nominal de 171 a 200 kW	8.114,14
1.2	Depósito de gasóleo homologado, en chapa de acero, con capacidad para 7500l	2.473,00
1.3	Colector modular plástico de 1"de diámetro modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 6 circuitos	2.853,68
1.4	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 7 circuitos	1.540,06
1.5	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 8 circuitos	8.438,00
1.6	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 9 circuitos	9.004,20
1.7	Colector modular plástico de 1"de diámetro, modelo Vario Plus UPONOR IBERIA, para 10 circuitos	7.656,24
1.8	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPONOR IBERIA	5.007,33
1.9	Sistema de calefacción y refrigeración por suelo radiante UPONOR IBERIA	103.355,06
1.10	Sistema de regulación de la temperatura digital vía cable a 24V UPONOR IBERIA	2.770,32
1.11	Sistema de regulación de la temperatura digital vía cable a 24V UPONOR IBERIA	1.468,94
1.12	Sistema de regulación de la temperatura digital vía cable a 24V UPONOR IBERIA	7.763,60
1.13	Sistema de regulación de la temperatura digital vía cable a 24V UPONOR IBERIA	8.182,50
1.14	Sistema de regulación de la temperatura digital vía cable a 24V UPONOR IBERIA	6.881,04
1.15	Grupo de impulsión para control de la bomba de circulación y de la humedad	63.867,98
1.16	Punto de llenado de red de distribución de agua	217,70
1.17	Tubería en interior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	1.655,98
1.18	Tubería en interior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	14.938,61
1.19	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 25 mm de diámetro exterior	565,68
1.20	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 32 mm de diámetro exterior	7.721,46
1.21	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 40 mm de diámetro exterior	118,09
1.22	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 50 mm de diámetro exterior	1.121,12
1.23	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 63 mm de diámetro exterior	2.344,47
1.24	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 75 mm de diámetro exterior	2.751,65
1.25	Tubería en exterior de polietileno reticulado (PE-X), de 90 mm de diámetro exterior	3.641,90

1.26	Punto de vaciado de red de distribución de agua 25 mm diámetro exterior	1.574,88
1.27	Punto de vaciado de red de distribución de agua 32 mm diámetro exterior	36,21
1.28	Bomba circuladora de rotor húmedo, In-Line, modelo "Etherma" 5-120-2 EBARA	2.926,15
1.29	Bomba circuladora de rotor húmedo, In-Line, modelo "Etherma" 5-120-2 EBARA	2.926,15
1.30	Vaso de expansión cerrado, 10 bar, capacidad de 200l,	426,68
1.31	Válvula de 3 vías de 1/2", mezcladora, con actuador de 220 V	167,58
1.32	Purgador automático de aire, para una presión y temperatura máxima de trabajo de 6 bar y 110 °C	630,36
1.33	Contador de agua para calefacción de chorro único, temperatura máxima de líquido 120°C,	3.636,16
1.34	Control centralizado para la instalación de calefacción y ACS mediante regulación electrónica,	987,70
TOTAL		287.827,66 €

Tabla 1.17: Resumen del presupuesto de ejecución material de la instalación de gasóleo

Evaluación de la inversión

Aspectos relevantes de la evaluación económica

Para efectuar el cálculo de los flujos de caja en la evaluación económica de la inversión, se tienen en cuenta los siguientes aspectos;

- Se fija la vida útil de la inversión en 20 años.
- Se calculan los costes asociados al consumo de gasóleo para calefacción y ACS a lo largo de la vida útil de la inversión, así como los costes acosados al consumo de electricidad para calefacción y ACS, en el caso del edificio con la instalación de calor azul y termos eléctricos. La diferencia entre los costes de gasóleo y de electricidad se considera como "ingreso".
- Para valorar el consumo de electricidad en calefacción y ACS, se consulta a la compañía comercializadora con mayor presencia en la zona, gasNatural Fenosa, y se toma como referencia la tarifa "Óptima Luz", que tiene un término de energía de 14,0656 ¢/kWh, y un término de potencia mensual de 3,5036 €/kW. La potencia contratada es de 9,2 kW. [?]. El rendimiento de los equipos eléctricos se considera el 100 %.
- La tendencia alcista del precio de la electricidad y la inestabilidad de su marco regulatorio invitan a plantear distintos escenarios de crecimiento del precio de la electricidad. Como punto de partida se tomará un 5 % de incremento anual.
- Para cuantificar el consumo de gasóleo asociado a los servicios de calefacción y ACS, es necesario establecer el rendimiento de la conversión energética y el contenido energético del gasóleo. Para ello, se toma como referencia, un rendimiento medio estacional de la caldera de baja temperatura, del 93 %, proporcionado por el fabricante. Así mismo, se toma como referencia un poder de combustión inferior (PCI) para el gasóleo de 10,28 kWh/litro, a partir de [?].
- Para valorar el coste del consumo de gasóleo, se toma como referencia un precio de 0,881 €/litro, a partir de [?].
- Se toma como referencia, un incremento anual del precio del gasóleo del 5 %. Como este es un factor critico en la viabilidad de la inversión, se realiza un estudio de sensibilidad en torno a esta parámetro

- La tasa de descuento que se tiene en cuenta para esta evaluación económica es la correspondiente a la inversión libre de riesgo, que en este caso, se toma como el rendimiento de las obligaciones del Estado Español a 15 años, el 3 %, en el momento de la redacción de este trabajo. [?].

Resultados de la evaluación económica. Con financiación

Los resultados de la evaluación económica se muestran en la tabla 1.18. Se muestran los indicadores de viabilidad económica: VAN (Valor Actual Neto de la inversión), TIR (Tasa Interna de Retorno, mínima rentabilidad exigible a la inversión) y Payback (Periodo de recuperación de la inversión inicial procedente de fondos propios).

RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA	
VAN	-25.037 €
TIR	2 %
Payback	No se recupera la inversión en 20 años

Tabla 1.18: Resultados de la evaluación económica. Instalación gasóleo.

En la figura 1.25 se muestra la evolución de rentabilidad de la inversión durante el periodo de vida útil de la inversión.

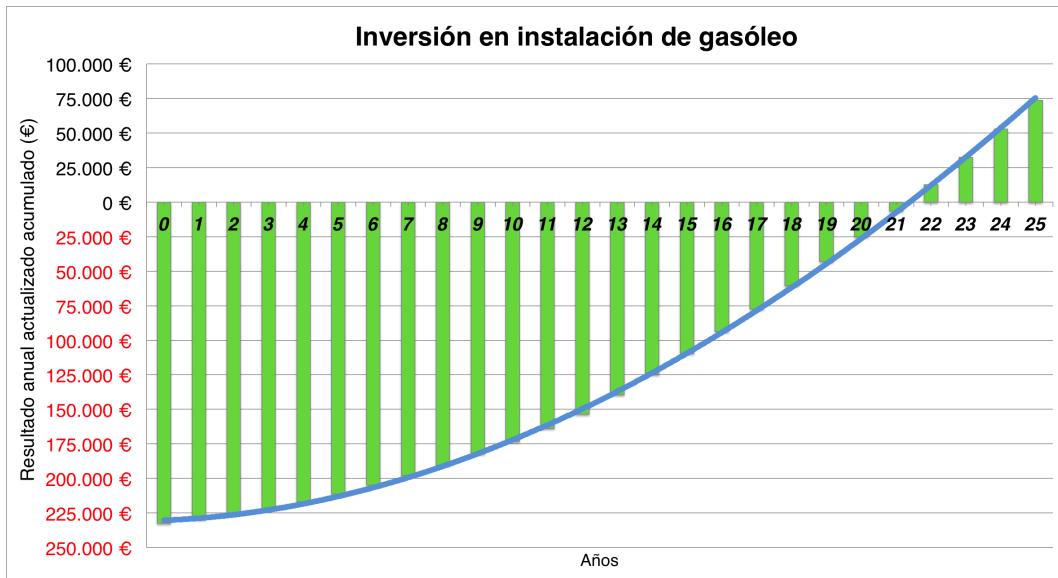


Figura 1.25: Evolución rentabilidad de la inversión en la instalación de gasóleo

Resultados de la evaluación económica. Sin financiación

En el caso de no conseguir la financiación del programa PAREER, la inversión tendría que ser afrontada con fondos propios al 100 %. Los resultados en este caso se muestran en la tabla 1.19.

RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA	
VAN	-32.807 €
TIR	2 %
Payback	No se recupera la inversión en 20 años

Tabla 1.19: Resultados de la evaluación económica sin financiación. Instalación gasóleo. Sin financiación

En la figura 1.26 se muestra la evolución de rentabilidad de la inversión en el caso de no recibir la financiación del programa PAREER.

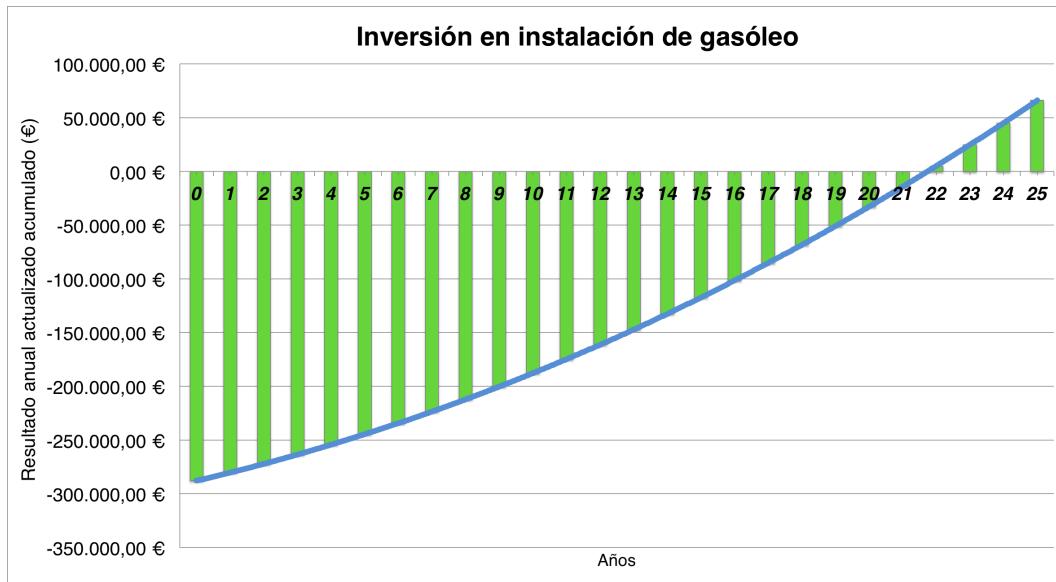


Figura 1.26: Evolución rentabilidad de la inversión en la instalación de gasóleo. Sin financiación

Por tanto la instalación de gasóleo **NO** es viable pues no se recupera la inversión aportada en los primeros 20 años.

Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad llevado a cabo en torno al incremento anual de los precios energéticos, electricidad y gasóleo, se muestran en 1.27 y 1.28.

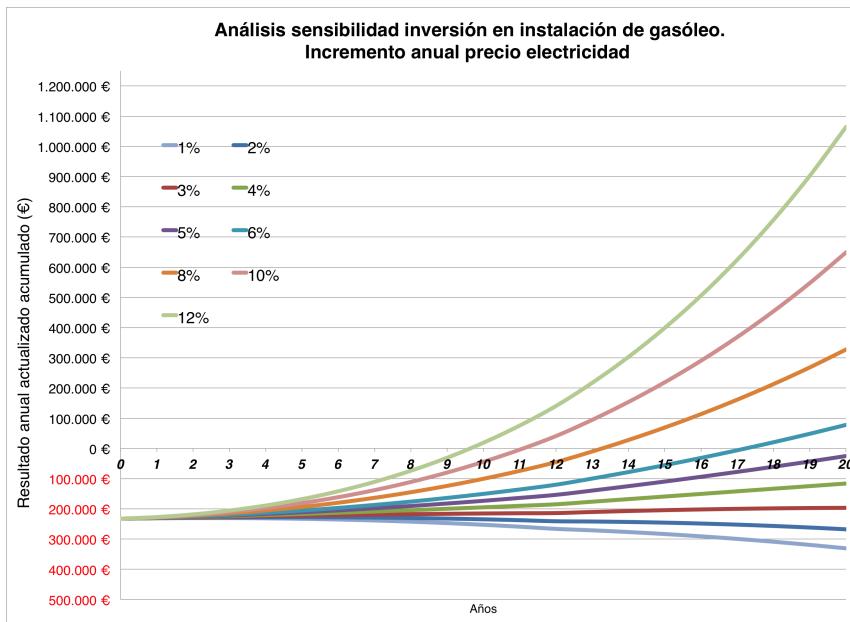


Figura 1.27: Análisis de sensibilidad de la inversión al incremento del precio de la electricidad

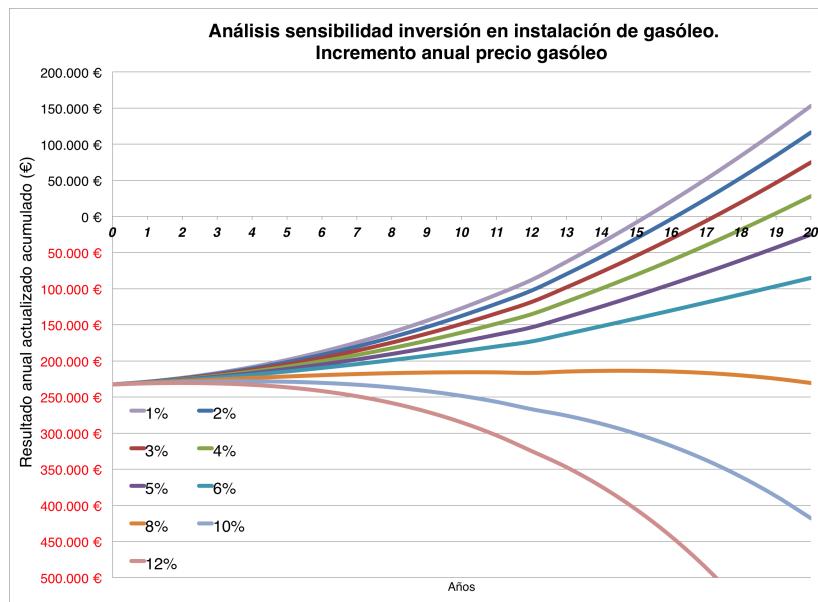


Figura 1.28: Análisis de sensibilidad de la inversión al incremento del precio del gasóleo

La evolución del Valor Actual Neto (VAN) de la inversión para los casos considerados en el análisis de sensibilidad se muestra en 1.29 y 1.30.

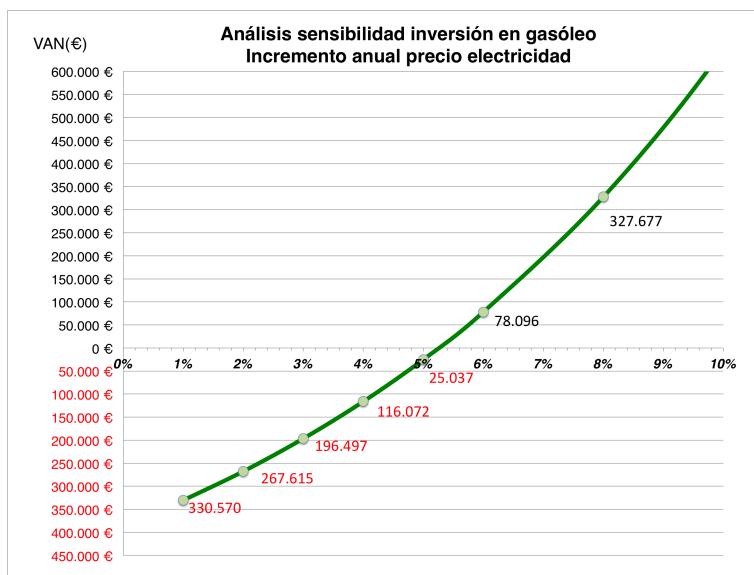


Figura 1.29: Evolución del VAN. Análisis de sensibilidad precio electricidad

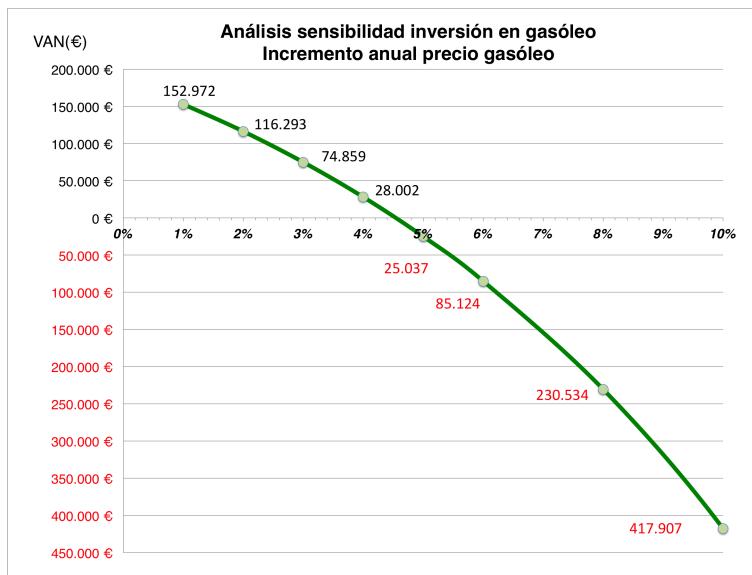


Figura 1.30: Evolución del VAN. Análisis de sensibilidad precio gasóleo

Se deduce de los análisis, que la inversión en la instalación de gasóleo, puede llegar a ser viable, en un escenario en el que se mantenga acotado el precio del gasóleo, hecho que es bastante complicado, teniendo en cuenta el agotamiento de los combustibles fósiles y su consecuente encarecimiento.