



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de rehabilitación energética de un edificio administrativo

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Manuel Moreno Nicolás
Director: José Pablo Delgado Marín

Cartagena, 17/10/2017



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Índice

1.	Resumen ejecutivo	7
2.	Introducción	10
3.	Marco normativo.....	11
4.	Descripción del edificio.	14
5.	Programas de cálculo de referencia.....	19
6.	Rehabilitación energética en edificios	29
6.1.	Factores que determinan las intervenciones.....	30
6.2.	Medidas de mejora para la rehabilitación de edificios	30
6.2.1.	Reducción de la demanda a partir de acciones en la envolvente del edificio	30
6.2.2.	Mejora de la eficiencia energética de la iluminación interior.....	32
6.2.3.	Mejora de la eficiencia de las instalaciones térmicas.	32
7.	Estimación energética del edificio	33
8.	Análisis energético de las mejoras propuestas	37
8.1.	Metodología para la selección de medidas.....	37
8.2.	Mejora en las instalaciones de iluminación interior	38
8.3.	Mejora por renovación de la envolvente térmica.....	41
8.3.1.	Mejora en el aislamiento de los cerramientos opacos	41
8.3.2.	Mejora en los huecos	54
8.3.3.	Selección de las mejoras más ventajosas en la envolvente	64
8.4.	Mejora en las instalaciones térmicas	68
8.4.1.	Instalación de biomasa/solar para ACS.....	68
8.4.2.	Sustitución de los equipos de climatización.....	78
9.	Rentabilidad económica de las soluciones propuestas.....	82
10.	Conclusiones.....	93
11.	Bibliografía	95

Índice de Figuras

Figura 1. Ahorros energéticos de la opción seleccionada.....	8
Figura 2. Índice Documento Básico Ahorro de Energía.....	11
Figura 3. Entrada edificio.	14
Figura 4. Fachadas sur y este del edificio.....	15
Figura 5. Fachada norte del edificio	15
Figura 6. Equipos de climatización del edificio	16
Figura 7. Zonas climáticas de la Península Ibérica	17
Figura 8. Zonificación climática en función de la radiación solar global media diaria anual	18
Figura 9. Vista superior del edificio	18
Figura 10. Resultados calificación energética del programa.....	19
Figura 11. Interfaz del programa. Envolvente.....	20
Figura 12. Elección tipo edificatorio del edificio	21
Figura 13. Introducción datos generales CE3X.....	21
Figura 14. Definición de cubiertas en CE3X.....	22
Figura 15. Definición de suelos en CE3X	22
Figura 16. Definición de muros en CE3X	23
Figura 17. Definición de huecos en CE3X.....	23
Figura 18. Introducción elementos de sombreado en huecos	24
Figura 19. Definición particiones interiores en CE3X.....	24
Figura 20. Definición puentes térmicos en CE3X	25
Figura 21. Definición instalaciones del edificio en CE3X.....	25
Figura 22. Definición equipo de ACS en CE3X	26
Figura 23. Definición equipos de calefacción y refrigeración en CE3X	26
Figura 24. Definición equipos iluminación en CE3X.....	27
Figura 25. Interfaz del programa. Introducción medidas de mejora	27
Figura 26. Resultados medidas de mejora ofrecidos por el programa.....	28
Figura 27. Demanda de referencia a 60°C.....	34
Figura 28. Consumos energéticos anuales del edificio	36
Figura 29. Evolución elementos de iluminación.	38
Figura 30. Ahorros energéticos producidos por el cambio a tecnología LED	39
Figura 31. Potencia máxima de iluminación según uso del edificio.....	40
Figura 32. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.	41
Figura 33. Disposición aislante en la cubierta.....	42
Figura 34. Paneles XPS	45
Figura 35. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente	46
Figura 36. Instalación aislamiento en fachada por el exterior	48
Figura 37. Panel de lana mineral (MW).....	49
Figura 38. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente	50
Figura 39. Esquema disposición del aislante sobre el suelo	52
Figura 40. Ejemplo disposición del aislante sobre el suelo	53
Figura 41. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente	53
Figura 42. Tipo de marco PVC de tres cámaras.....	55
Figura 43. Tipo de marco Aluminio con RPT	56
Figura 44. Esquema funcionamiento vidrio de baja emisividad	57
Figura 45. Esquema funcionamiento vidrio control solar	58
Figura 46. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente....	62

Figura 47. Ejemplo utilización de toldos	64
Figura 48. Comparativa del parámetro de Rentabilidad de los elementos de la envolvente.....	65
Figura 49. Esquema instalación solar y biomasa para suministro de ACS	69
Figura 50. Ejemplo de colectores solares.....	69
Figura 51. Selección silo de almacenaje de combustible	71
Figura 52. Selección del sistema de protección del silo.....	72
Figura 53. Selección sistema de conexión silo y caldera.....	72
Figura 54. Selección caldera comercial	73
Figura 55. Selección servicio técnico y envío de caldera	73
Figura 56. Selección depósito de inercia de la instalación.....	75
Figura 57. Selección aislamiento del depósito de inercia	75
Figura 58. Distribución de la aportación solar y auxiliar	77
Figura 59. Contribución solar mínima anual para ACS en %	77
Figura 60. Ahorros producidos por el cambio de equipos de climatización	81
Figura 61. Ahorro energético en el edificio de mayor rentabilidad	83
Figura 62. Ahorro energético en el edificio de mayor ahorro.....	84
Figura 63. Representación gráfica del VAN para la inversión más rentable	85
Figura 64. Representación gráfica del VAN para el escenario con mayor ahorro energético	86
Figura 65. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada	88
Figura 66. Ahorro energético en el edificio de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada	89
Figura 67. VAN para el edificio más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada	90
Figura 68. VAN para el edificio de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada	91
Figura 69. VAN para los diferentes escenarios estudiados.....	91

Índice de tablas

Tabla 1. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada	8
Tabla 2. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada. 8	
Tabla 3. Elementos instalación iluminación.....	16
Tabla 4. Horas de utilización luz y factor de simultaneidad por mes.....	33
Tabla 5. Temperatura agua de red ciudad de Murcia.....	34
Tabla 6. Temperatura agua de red municipio de Blanca	35
Tabla 7. Estimación energética del edificio.....	35
Tabla 8. Sustitución de luminaria en el edificio	38
Tabla 9. Variaciones en la demanda de calefacción y refrigeración provocada por el cambio a tecnología LED.....	39
Tabla 10. Ahorros energéticos producidos por el cambio a tecnología LED.....	39
Tabla 11. PR cambio a tecnología LED	40
Tabla 12. Clasificación de materiales según potencial energético	43
Tabla 13. Clasificación de materiales según opacidad humos generados	43
Tabla 14. Clasificación de materiales según caída partículas inflamadas	43
Tabla 15. Resultados en calefacción soluciones propuestas en cubierta	44
Tabla 16. Resultados refrigeración soluciones propuestas en cubierta	45
Tabla 17. Análisis económico soluciones propuestas en cubierta.....	45
Tabla 18. Resultados en calefacción soluciones propuestas en fachada.....	48
Tabla 19. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en fachada.....	48
Tabla 20. Análisis económico soluciones propuestas en fachada.....	49
Tabla 21. Resultados en calefacción soluciones propuestas en suelo	51
Tabla 22. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en suelo	52
Tabla 23. Análisis económico soluciones propuestas en suelo.....	52
Tabla 24. Propiedades carpintería en el escenario inicial del edificio.	54
Tabla 25. Propiedades marcos de las soluciones de carpintería a implementar.....	55
Tabla 26. Resumen de propiedades vidrios a implementar como soluciones.....	60
Tabla 27. Resultados en calefacción soluciones propuestas en huecos	60
Tabla 28. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en huecos	61
Tabla 29. Análisis económico soluciones propuestas en huecos.....	61
Tabla 30. Ahorro producido por la implementación de toldos como solución	63
Tabla 31. Resumen de las medidas a implementar seleccionadas	64
Tabla 32. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente	65
Tabla 33. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente	65
Tabla 34. Análisis económico soluciones seleccionadas envolvente	65
Tabla 35. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada	66
Tabla 36. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada	66
Tabla 37. Análisis económico soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	66
Tabla 38. Resumen de especificaciones caldera biomasa	70
Tabla 39. Dimensionado volumen silo de almacenamiento	71
Tabla 40. Dimensionado de la potencia de la caldera	73
Tabla 41. Resumen comprobaciones para el depósito de inercia	75

Tabla 42. Partidas de presupuesto instalación biomasa.....	76
Tabla 43. Aportación solar y auxiliar de la instalación solar térmica.....	77
Tabla 44. Ahorro económico producido por cambio en el suministro de ACS.....	78
Tabla 45. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente y cambio a LED.....	79
Tabla 46. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente y cambio a LED.....	79
Tabla 47. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento fachada y cambio a LED.....	79
Tabla 48. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento fachada y cambio a LED.....	79
Tabla 49. Coste de los equipos de climatización.....	80
Tabla 50. Ahorros producidos por el cambio de equipos de climatización.....	81
Tabla 51. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente y cambio a tecnología LED.....	82
Tabla 52. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente, cambio a tecnología LED y nuevos equipos de climatización.....	82
Tabla 53. Ahorro energético en el edificio de mayor rentabilidad.....	83
Tabla 54. Ahorro económico en el edificio de mayor rentabilidad.....	83
Tabla 55. Ahorro energético total en el edificio de mayor ahorro.....	83
Tabla 56. Ahorro económico total en el edificio de mayor ahorro.....	84
Tabla 57. Datos análisis económico.....	84
Tabla 58. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad.....	85
Tabla 59. VAN para el escenario de mayor rentabilidad.....	85
Tabla 60. Parámetros económicos para el escenario de mayor rentabilidad.....	85
Tabla 61. Inversión para el escenario de mayor ahorro energético.....	86
Tabla 62. VAN para el escenario de mayor ahorro energético.....	86
Tabla 63. Parámetros económicos para el escenario de mayor ahorro energético.....	86
Tabla 64. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente sin aislante por el exterior de la fachada y cambio a tecnología LED.....	87
Tabla 65. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente sin aislante por el exterior de la fachada, cambio a tecnología LED y nuevos equipos de climatización.....	87
Tabla 66. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	87
Tabla 67. Ahorro económico total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	88
Tabla 68. Ahorro energético total en el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	88
Tabla 69. Ahorro económico total en el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	89
Tabla 70. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	89
Tabla 71. VAN para el edificio más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	90
Tabla 72. Parámetros económicos solución más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	90
Tabla 73. Inversión para el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	90
Tabla 74. VAN para la inversión de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	91
Tabla 75. Parámetros económicos solución de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.....	91
Tabla 76. VAN de los diferentes escenarios propuestos.....	91

1. Resumen ejecutivo

En el presente Trabajo Fin de Máster se puede visualizar el proyecto de rehabilitación energética de un edificio administrativo: Residencia de Mayores y Centro de Día del municipio de Blanca, en la Región de Murcia.

Se ha realizado durante el periodo de prácticas en la empresa EuroVértice Consultores S.L., especializada en eficiencia energética, aprovechamiento de energías renovables, sostenibilidad en el uso de los recursos y en otros ámbitos como cooperación territorial, innovación, Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible o Estrategias de Desarrollo Local Participativo.

En primer lugar se ha hecho un análisis del marco normativo existente en el ámbito de la rehabilitación energética de edificios. Queda recogido en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE), donde se contemplan los distintos requerimientos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la rehabilitación energética en edificaciones.

Posteriormente se ha explicado el funcionamiento y las posibilidades del programa de referencia a la hora de la rehabilitación energética en edificios, CE3X, que será el utilizado durante la realización del trabajo explicando su funcionamiento y posibilidades.

A continuación, se ha estudiado el edificio en particular correspondiente al presente trabajo. Se ha recabado toda la información posible acerca de su funcionamiento, sus materiales de construcción, sus instalaciones térmicas, su instalación de iluminación y su consumo energético.

Posteriormente se han seleccionado las medidas de mejora a aplicar en el edificio. Estas soluciones se han dividido en la renovación energética de los cerramientos opacos, la sustitución de acristalamientos y marcos en los huecos, la renovación de las instalaciones térmicas del edificio y la actualización de la instalación de iluminación.

El problema de la rehabilitación energética se ha desacoplado, introduciendo las mejoras de forma independiente para así facilitar la toma de decisión sobre la idoneidad de cada solución a seleccionar. Como criterio de elección se ha definido un indicador de rentabilidad basado en la relación entre el ahorro energético anual conseguido con la medida propuesta y su coste de implantación (kWh/€): A partir de este indicador se ha seleccionado la medida de mejora más rentable en cada problema planteado. Por otro lado, también se ha seleccionado la opción que produce un mayor ahorro energético total.

A partir de la selección de la opción más rentable y de mayor ahorro para cada medida de mejora se han realizado diferentes escenarios de rehabilitación del edificio completo que han sido analizados económicamente.

Finalmente, se ha seleccionado la opción más adecuada para la rehabilitación del edificio. Dicho escenario contempla una mejora en los aislamientos de suelo y cubierta, pero sin actuar sobre la fachada opaca. El análisis de rentabilidad ofrece un VAN para 20 años de 161.340,61 € y una TIR para el mismo período de 5,45%.

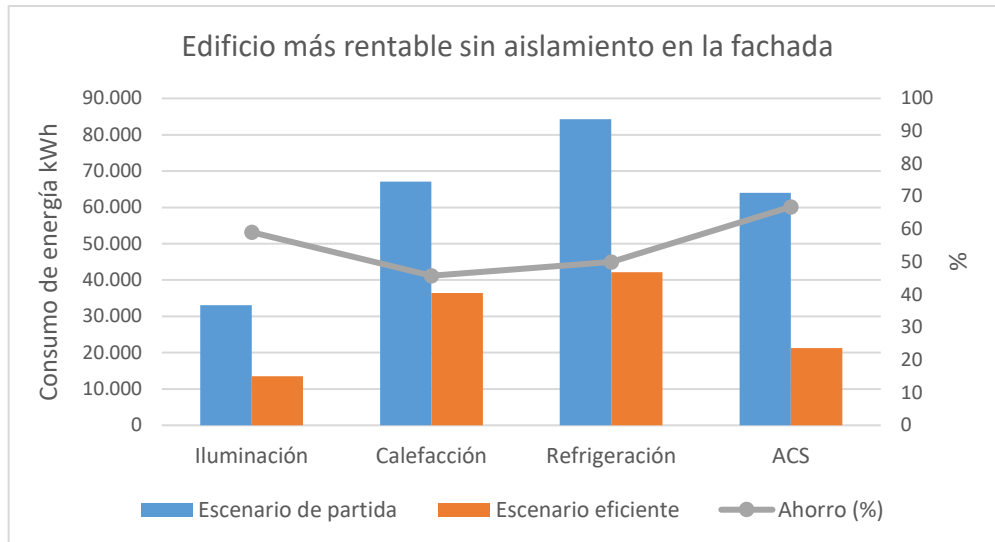


Figura 1. Ahorros energéticos de la opción seleccionada

	Escenario de partida kWh	Escenario eficiente kWh	Ahorro (%)	Ahorro total kWh
Iluminación	33.073,02	13.526,86	59,10	19.546,15
Calefacción	67.132,47	36.412,65	45,76	30.719,82
Refrigeración	84.272,07	42.186,60	49,94	42.085,47
ACS	64.052,04	21.227,00 (pellets)	66,86	42.825,04
Otros	33.890,40	33.890,40	0,00	0,00
Total	282.420,00	147.243,51	47,86	135.176,48

Tabla 1. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada

Partida	Coste (€)
Aislamiento de cubierta	12.779,05
Aislamiento de suelo	8.011,65
Sustitución de la carpintería	120.905,93
Toldos	24.701,76
Iluminación	27.167,19
Instalación solar térmica y biomasa	89.585,65
Sustitución equipos de climatización	48.360,88
Total	331.512,11

Tabla 2. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada.

Las conclusiones que se han obtenido durante la realización del trabajo son las siguientes:

Se ha realizado un análisis de sensibilidad sobre el efecto de introducir una gran variedad de soluciones para la renovación de la envolvente en la variación de la demanda del edificio producidos por la introducción de una gran variedad de materiales aislantes en cerramientos opacos de la envolvente y por los cambios de acristalamiento y marco de los huecos del edificio.

Se ha comprobado como el vidrio de control solar es el más adecuado para nuestra zona climática, además se ha observado que el vidrio bajo emisivo no es perjudicial para los meses de verano ya que la carga interna no es tan determinante como la externa. La combinación de ambos es la solución elegida.

Se ha constatado el gran ahorro energético producido por la incorporación de elementos de protección solar en un edificio con alta radiación solar y una gran cantidad de huecos en la fachada.

En cuanto a las instalaciones térmicas del edificio, se han comprobado los ahorros producidos por la sustitución de equipos de climatización del edificio por otros con mayores rendimientos. Además, se ha realizado el dimensionado de una instalación solar térmica con caldera de biomasa como sistema de apoyo para abastecer la demanda diaria de ACS y se ha comprobado su beneficio energético y económico.

De igual manera, se ha propuesto un cambio en el sistema de iluminación interior del edificio por otro basado en tecnología LED.

Por otro lado, se han registrado deficiencias detectadas en el uso del programa de referencia CE3X a la hora de realizar el análisis energético.

Se ha constatado como las ayudas y subvenciones que ofrece la administración pueden ser de gran utilidad a la hora de incentivar la rehabilitación energética de edificios.

Como conclusión final, de este análisis comparativo se pueden extraer conclusiones que faciliten la toma de decisiones a la hora de establecer una estrategia para la rehabilitación energética de edificios, aplicable a multitud de escenarios según las características del edificio y el objetivo de la rehabilitación.

2. Introducción

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la sociedad actual es la lucha contra el cambio climático. El impacto que causan los seres humanos en el medio ambiente deriva del uso de la energía, y es la razón más importante para explicar el aumento del cambio climático y de las emisiones de gases de efecto invernadero que se ha producido en el último siglo.

Este incremento en el uso energético ha sido principalmente de combustibles fósiles, lo que ha supuesto el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero, mayormente CO₂.

Teniendo en cuenta este aumento y dada la necesidad de establecer políticas para el desarrollo sostenible, la Unión Europea marcó como objetivos para 2020 la reducción de emisiones de efecto invernadero en un 20%, el ahorro del 20% en el consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética y la promoción de las energías renovables hasta en un 20%, porcentajes incrementados para el año 2030 hasta un 40%, 27% y 27% respectivamente.

En la actualidad, la UE cuantifica en un 40% del total la energía consumida en edificios, y del 60% porcentaje restante el 32% el correspondiente al transporte y el 28% el debido a industria.

Además, señala que el 80% es usado en pequeños edificios y los 2/3 de la energía consumida en edificios es destinada a calefacción y refrigeración. Del mismo modo, expone que los edificios suponen un 36%¹ del total de las emisiones y que el 90% de su consumo se puede reducir.²

Por ello, la Unión Europea ha situado como uno de sus objetivos principales en la lucha contra el cambio climático la mejora de la eficiencia energética de los edificios.

Este objetivo se enfoca tanto en la rehabilitación de los parques inmobiliarios existentes como en la construcción de nuevas edificaciones. En ambos casos, se plantean medidas para reducir la demanda energética de los edificios, así como para sustituir el uso de instalaciones de baja eficiencia energética por otras de alta eficiencia.

En el presente trabajo se estudiará la rehabilitación energética de un edificio objeto. En el planteamiento de la rehabilitación, se estudiarán medidas de actuación tanto pasivas, aquellas con las que se pretende reducir la demanda de las edificaciones; como activas, las que buscan mejorar el rendimiento de nuestras instalaciones.

Una vez planteadas las posibles medidas de rehabilitación del edificio, se hará un estudio de cada una de ellas con la ayuda del software de referencia para la certificación energética de edificios existentes, CE3X, con el que se estima el ahorro energético según las medidas introducidas, seleccionando la opción más eficiente. Además, se realizará un análisis económico para observar la rentabilidad de las medidas.

Así pues, el presente trabajo tiene por objetivo establecer las pautas para la rehabilitación energética de un edificio y el análisis de los efectos de esta actuación.

Se ha de mencionar que el trabajo se ha desarrollado durante la realización de unas prácticas de empresa en EuroVértice Consultores S.L., empresa con gran experiencia en temas relacionados con la eficiencia energética.

¹ Auditorías energéticas. Instituto Valenciano de la Edificación.

² Medidas pasivas de la mejora de la eficiencia energética. Instituto Valenciano de la Edificación.

3. Marco normativo

Como documento normativo de referencia para el ahorro energético en las edificaciones, el Ministerio de Fomento ha desarrollado el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), que pertenece al Código Técnico de la Edificación, y cuya última actualización data del año 2013.

El objetivo del documento consiste, según el Código Técnico de la Edificación, en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovables, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

El Documento Básico “DB HE Ahorro de energía” especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.³

Documento Básico	HE
Ahorro de energía	
Con comentarios del Ministerio de Fomento	
HE0	Limitación del consumo energético
HE1	Limitación de la demanda energética
HE2	Rendimiento de las instalaciones térmicas
HE3	Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
HE4	Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
HE5	Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Figura 2. Índice Documento Básico Ahorro de Energía

El documento cuenta con varias secciones que responden a las exigencias básicas de ahorro de energía:

- Sección HE0: Limitación del consumo energético.

Esta sección trata de los de la limitación en el consumo de energía. Establece las pautas a seguir para establecer la caracterización y cuantificación de la exigencia, así como el procedimiento de verificación y justificación de dicha exigencia. También ofrece los datos necesarios para el cálculo del consumo energético y los procedimientos para su cálculo.

- Sección HE1: Limitación de la demanda energética.

En la sección HE1 se expone la información acerca de la envolvente de los edificios. Se indica que los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del

³ Documento Básico Ahorro de Energía. Introducción.

edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

- Sección HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.

En la sección HE2 se expone que los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

- Sección HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

La sección HE3 habla de las instalaciones de iluminación, establece los parámetros para que los edificios dispongan de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficientes energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

- Sección HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS).

La sección HE4 detalla que en los edificios con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio o de la piscina.

Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

- Sección HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Por último, la sección HE5 trata de la contribución fotovoltaica. En los edificios que así se establezca, se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o vertido a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

Para la realización del presente trabajo, es necesario estudiar si las acciones que se realizarán en el edificio se encuentran dentro del ámbito de aplicación del reglamento.

En primer lugar, para la actuación en la envolvente del edificio, la sección HE1 expone que será de aplicación en intervenciones en edificios existentes “cualquier trabajo u obra en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio”, por lo que se debe tener en cuenta los aspectos normativos recogidos en la sección.

La sección HE2, cuyas exigencias quedan recogidas en el RITE, expone que “se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas que se reformen en los

edificios existentes”, y que se entenderá como reforma de una instalación térmica “la sustitución de un generador de calor o frío por otro de diferentes características”, entre otros, por esta razón también se tendrán en cuenta la aplicación de los aspectos normativos de la sección.

La sección HE3 es de aplicación a las instalaciones de iluminación interior en “intervenciones en edificios existentes con una superficie útil total final superior a 1000m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada”, entre otros. En nuestro edificio se renovará el 100% de la iluminación y la superficie es mayor que la establecida, así pues, la sección HE3 también será de aplicación.

También será de aplicación la sección HE4 referente a contribución solar mínima de ACS, dado que se aplicará a “edificios de nueva construcción o a edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 l/d”, entre otros.

La sección HE0 no contempla en su ámbito de aplicación las intervenciones en edificios existentes, por lo que no será considerada. La sección HE5 tampoco se tendrá en cuenta, ya que nuestro edificio no supera los 5.000 m² de superficie.

4. Descripción del edificio.

El edificio objeto de estudio está situado en el municipio de Blanca (Murcia). Fue construido en dos fases: la primera en el año 2000 y la segunda en el año 2006, momento en el que aún no había entrado en vigor el CTE y era de aplicación la Norma Básica de Edificación para Condiciones Térmicas en los Edificios de 1979 (NBE-CT-79). Se trata de un edificio rectangular, aislado, que comparte manzana con un parque infantil. Se utiliza como residencia de mayores, consta de 33 habitaciones dobles y tiene dos partes diferenciadas correspondientes a las dos fases de construcción:

- La primera parte consta de una sola planta de 971 m² de superficie construida, donde se sitúan las salas polivalentes, un salón comedor, servicio de doctor y enfermería, sala de televisión y tres dormitorios.
- La segunda parte consta de tres plantas, con una superficie total construida de 1.460,79 m². En la planta baja se sitúan salas polivalentes, una sala de fisioterapia, un salón comedor, una sala de oficina, vestuarios y aseos, mientras que las dos plantas superiores están dedicadas, exclusivamente, a alojar los dormitorios para los residentes.

La fachada está pintada de amarillo en su mayor parte, aunque también de blanco en algunas zonas. Posee como aislante térmico lana de mineral. Los huecos suponen un 29% de la superficie de la fachada del edificio y están acabados en carpintería de aluminio y tienen acristalamiento doble.

Uno de los problemas de diseño del edificio es el elevado número de huecos con orientación sur. Si se considera las orientaciones a sur y suroeste del edificio la superficie de los huecos es de 256,93 m², lo que supone un 67,58 % del total de la superficie de la fachada. Además, los huecos no disponen de protecciones solares. En un municipio de clima cálido y con elevada radiación solar como Blanca, esto supone una gran ganancia solar que dará lugar a un gran gasto energético en la climatización del edificio en verano.

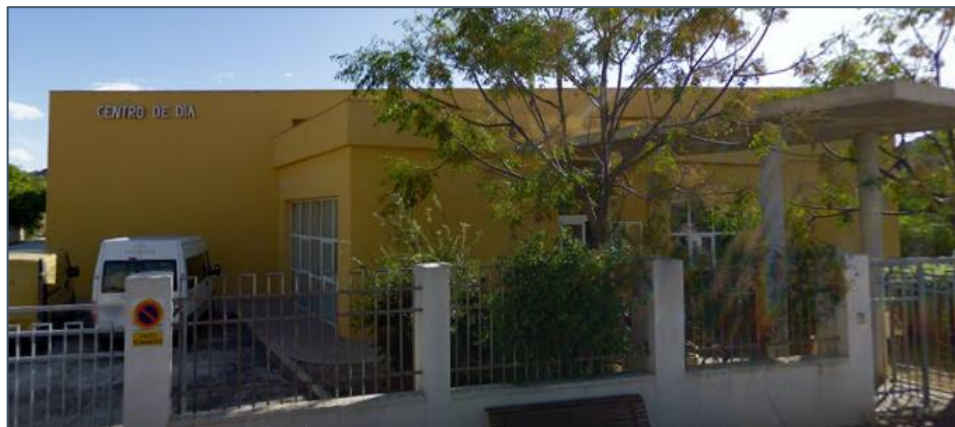


Figura 3. Entrada edificio.



Figura 4. Fachadas sur y este del edificio



Figura 5. Fachada norte del edificio

La cubierta de ambas partes del edificio es plana de tipo transitable.

El sistema de iluminación interior dispone de una potencia instalada de 21.978 W, sin tener en cuenta equipos auxiliares. La instalación de iluminación está compuesta por los siguientes elementos:

	nº	Potencia (W)
Pantalla 4x18	146	72
Fluorescente	38	58
Fluorescente	52	36
Fluorescente compacto	15	56
Bombilla halógena	33	50
Bombilla incandescente	58	60
Campana	4	250
Proyector	2	120

Tabla 3. Elementos instalación iluminación.

El sistema de climatización del edificio está formado por cuatro bombas de calor. Dos de estas máquinas cubren la demanda térmica de la parte de centro de día: disponen de una potencia frigorífica unitaria de 59.5 kW, potencia calorífica de 66 kW y utilizan para su funcionamiento el gas refrigerante R-22. Las otras dos cubren la demanda térmica de la parte del edificio de las habitaciones. Una dispone de una potencia frigorífica de 20.9 kW y 23.35 kW de calefacción. La última dispone de 38.9 kW y 40 kW de potencia frigorífica y calorífica respectivamente. Ambas utilizan como gas refrigerante el R-407C.



Figura 6. Equipos de climatización del edificio

El edificio cuenta con una instalación fotovoltaica; sin embargo, esta no ha sido tomada en cuenta en nuestro estudio, ya que no está destinada al autoconsumo, sino al vertido a la red y venta de la producción eléctrica.

Para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria (ACS), el edificio cuenta con 43 calentadores eléctricos individuales, tipo termo, de una capacidad de 50 litros y una potencia de 1.500 W cada uno.

El edificio tiene un perfil de uso de intensidad baja y 16 horas al día.

Como ya se ha mencionado, se encuentra en el municipio de Blanca, lo que corresponde a la zona climática C3 según el DB-HE 1, zona definida en función de la capital de provincia y la altitud respecto al nivel del mar. El municipio de Blanca se localiza a una altitud de 233 m sobre el nivel del mar, por lo que pertenece a la zona climática C3.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054																
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450	h < 550	h < 850	h ≥ 850
Barcelona	C2	1											h < 250		h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250				h ≥ 250
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500						h ≥ 500
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100		h < 600			h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			h ≥ 800
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436						h < 350			h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200		h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			h ≥ 700
Mejilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100		h < 300	h < 600		h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350		h ≥ 350		h ≥ 800
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150		h < 650		h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			h ≥ 500
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500		h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500			h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617														h < 800		h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

Figura 7. Zonas climáticas de la Península Ibérica

Además, pertenece a la zona climática V según el DB-HE 4, definida en función la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal.

MURCIA	Abanilla	30001	V
	Abarán	30002	V
	Águilas	30003	V
	Albudeite	30004	V
	Alcantarilla	30005	IV
	Aledo	30006	V
	Alguazas	30007	V
	Alhama de Murcia	30008	V
	Archena	30009	V
	Beniel	30010	IV
	Blanca	30011	V
	Bullas	30012	V
	Calasparra	30013	V
	Campos del Río	30014	V
	Caravaca de la Cruz	30015	V
	Cartagena	30016	IV
	Cehégín	30017	V
Ceutí	30018	V	

Figura 8. Zonificación climática en función de la radiación solar global media diaria anual



Figura 9. Vista superior del edificio

5. Programas de cálculo de referencia.

El programa de referencia utilizado en el presente trabajo es el CE3X v2.3, desarrollado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para la certificación energética de edificios existentes.

El uso del programa CE3X es el programa de referencia en certificaciones energéticas como se ha mencionado anteriormente. El resultado de la certificación energética de edificios viene dado por un indicador de emisiones de CO₂ que expresado en kgCO₂/m². Este indicador corresponde a una letra que según las características del edificio como zona climática o nivel de ocupación, podrá ser desde la A, que corresponde a la mejor calificación energética, a la G, que corresponde a la peor.

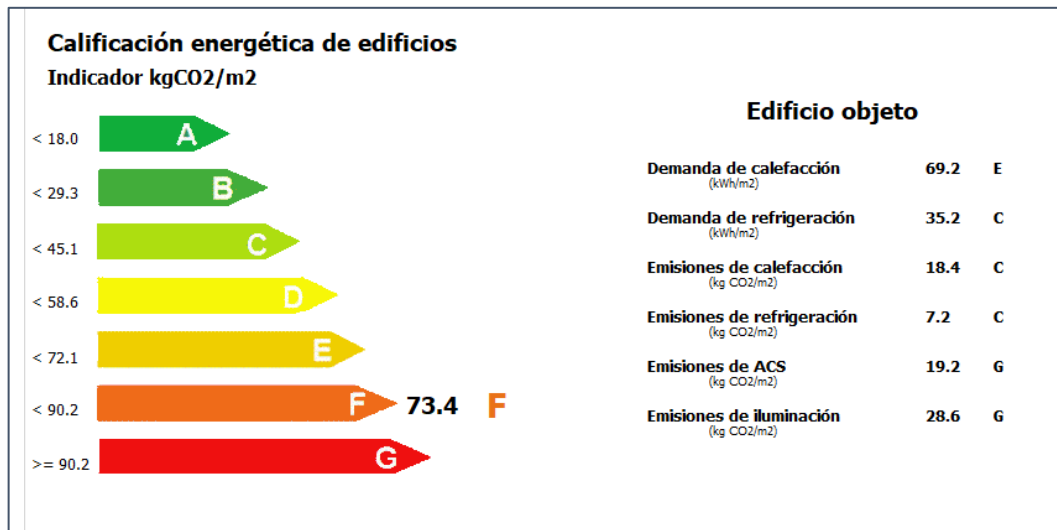


Figura 10. Resultados calificación energética del programa

Actualmente existen en España distintos programas como el Programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes (programa PAREER-CRECE) o el Plan de Vivienda, que facilitan ayudas económicas a través del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

Como requisito para que la ayuda contemplada en los programas se reciba, se exige la justificación de la mejora de una letra en la calificación energética del edificio producida por la rehabilitación energética efectuada. Esta justificación se realiza a través de los certificados energéticos que CE3X genera.

El programa se fundamenta en la comparación del edificio objeto de la certificación y una base de datos elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas, con los resultados obtenidos a partir de la realización de un gran número de simulaciones con Calener, programa desarrollado para la simulación energética en edificaciones.

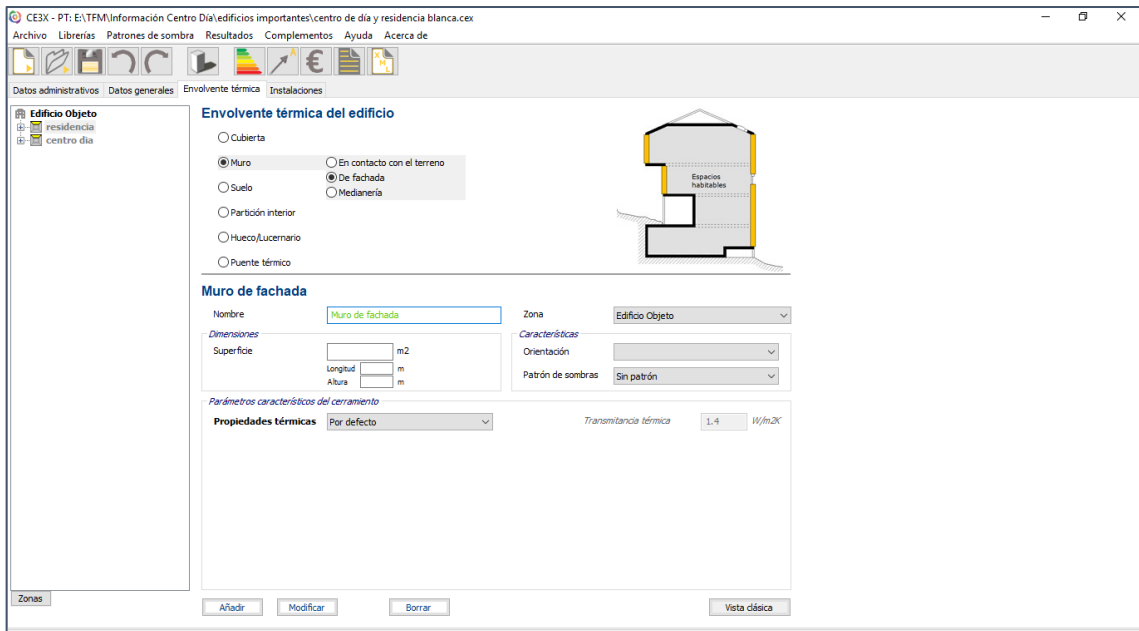


Figura 11. Interfaz del programa. Envoltente

Dispone de una base de datos de simulaciones energéticas de edificaciones muy amplia, lo suficiente para cubrir cualquier caso del parque edificatorio español. Cuando el usuario introduce los datos del edificio objeto, el programa parametriza las variables y las compara con las características de los casos recogidos en su base de datos, buscando las simulaciones más similares e interpolando respecto a ellas las demandas de calefacción y refrigeración.⁴

El procedimiento de certificación energética comienza con la recogida de datos que definen el comportamiento térmico del edificio. Entre los datos que es necesario introducir para la certificación del edificio se encuentran los siguientes tipos:

- **Datos administrativos:** en referencia a la localización del edificio, el cliente y el técnico certificador.
- **Datos generales:** donde se indicará la normativa vigente del proyecto, la localización climática y el perfil de uso del edificio, así como la superficie útil habitable, la demanda diaria de ACS, o la ventilación del inmueble.
- **Datos de la envolvente térmica:** se introducirán en este apartado los datos referentes a cubierta, suelo, fachada y huecos, así como las particiones interiores y los puentes térmicos.
- **Datos de las instalaciones:** se introducirá la información relativa a equipos de climatización del edificio, la demanda de ACS, la iluminación y las posibles contribuciones energéticas por fuentes de energía renovable y cogeneración.

El software establece distintos niveles de introducción de datos en función del grado de conocimiento de las características térmicas e instalaciones del edificio:

- **Valores por defecto:** serán establecidos por la normativa vigente durante el desarrollo del proyecto y suponen unas las calidades energéticas mínimas que dan cumplimiento a dicha normativa, a falta de más información.

⁴ Manual de usuario CE3X.

- **Valores estimados:** se deducen de un valor conocido o justificado (como el aislamiento térmico del cerramiento) y otros conservadores, que se definen a partir de las características del elemento.
- **Valores conocidos:** se obtienen directamente de ensayos, catas en los cerramientos, del proyecto original o de sus reformas, de una monitorización de las instalaciones térmicas, o de cualquier otro documento, prueba o análisis que justifique el parámetro solicitado.

El programa presenta una estructura arbórea que nos permite la sencilla introducción de los datos anteriormente recogidos. Lo primero que se debe seleccionar para empezar con la introducción de datos es el tipo de edificio objeto de estudio: residencial, pequeño terciario o gran terciario.

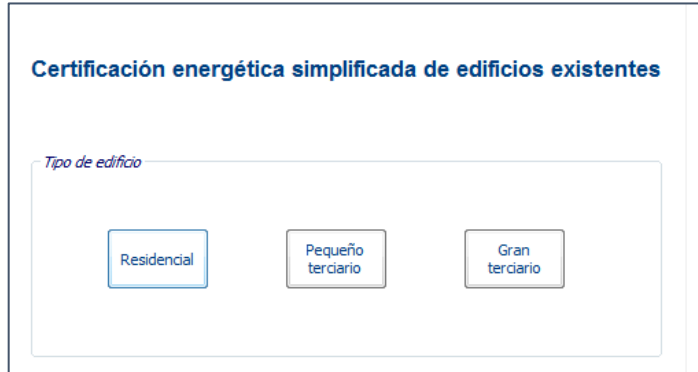


Figura 12. Elección tipo edificatorio del edificio

La introducción de los datos administrativos y generales es directa y se realiza directamente sobre las casillas correspondientes.

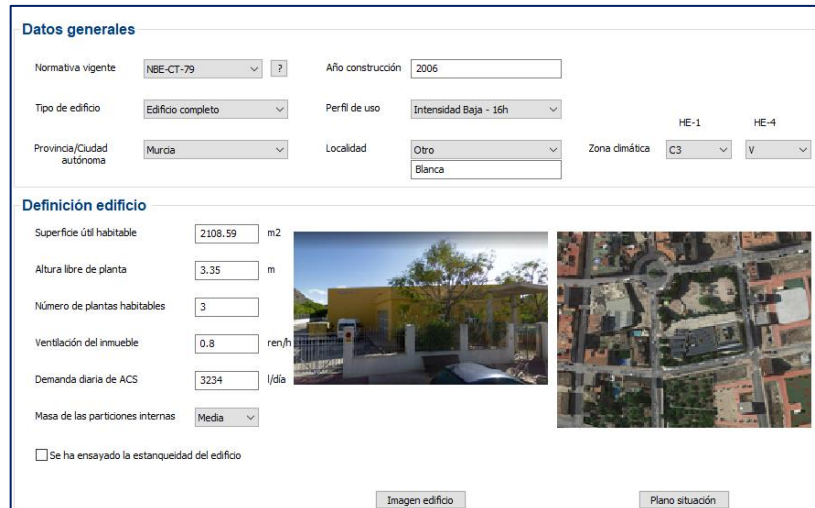


Figura 13. Introducción datos generales CE3X

Respecto a la definición de los datos correspondientes a la envolvente del edificio, se deben definir los siguientes elementos:

- Cubierta:

Para definir la cubierta es necesario conocer si está enterrada o en contacto con el aire; sus dimensiones, si se trata de una cubierta plana o inclinada; y, si es posible, su composición, en caso contrario se actuará por defecto. Además, se deben tener en cuenta las sombras provocadas por edificios y otros obstáculos cercanos a nuestro edificio que puedan afectar a la cubierta.



Envolvente térmica del edificio

Cubierta Enterrada
 Muro En contacto con el aire
 Suelo
 Partición interior
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico

Cubierta en contacto con el aire

Nombre: Zona:

Dimensiones: Superficie: m²
 Longitud: m
 Anchura: m

Características: Patrón de sombras:

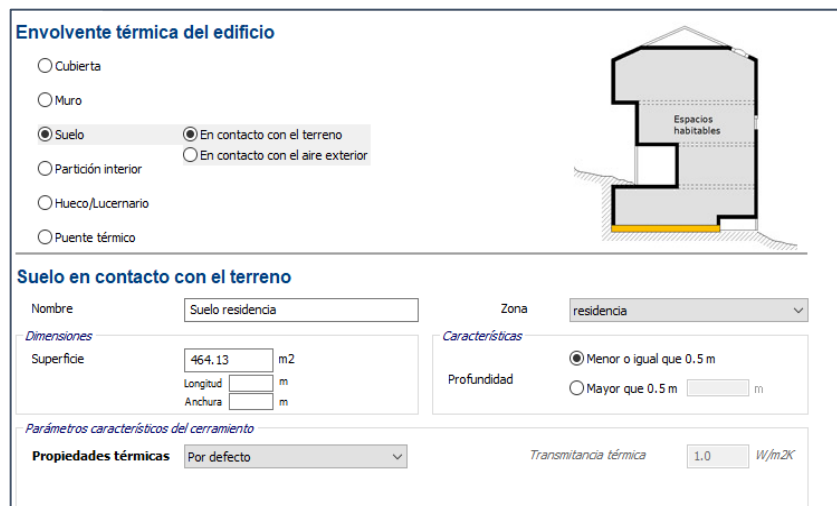
Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas: Transmitancia térmica: W/m²K
 Clase de cubierta:

Figura 14. Definición de cubiertas en CE3X

- Suelo:

Para el suelo se debe conocer la superficie de este, si su profundidad es menor o mayor de 0,5 m y su composición, en caso contrario se introducirán de nuevo los valores por defecto.



Envolvente térmica del edificio

Cubierta
 Muro
 Suelo En contacto con el terreno
 Partición interior En contacto con el aire exterior
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico

Suelo en contacto con el terreno

Nombre: Zona:

Dimensiones: Superficie: m²
 Longitud: m
 Anchura: m

Características: Profundidad: Menor o igual que 0.5 m
 Mayor que 0.5 m m

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas: Transmitancia térmica: W/m²K

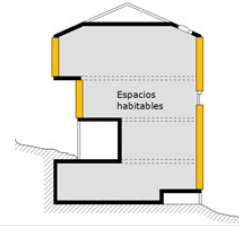
Figura 15. Definición de suelos en CE3X

- Muros:

En el caso de los muros se debe tener en cuenta su orientación, que será un aspecto determinante para estimar la radiación solar en el muro; la composición del muro, en cuyo caso contrario se seleccionará las propiedades térmicas por defecto; y la superficie de la parte del muro asociada.

Envolvente térmica del edificio

Cubierta
 Muro En contacto con el terreno
 Suelo De fachada Medianería
 Partición interior
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico



Muro de fachada

Nombre: Zona:

Dimensiones

Superficie: m²
 Longitud: m
 Altura: m

Características

Orientación:
 Patrón de sombras:

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas Conocidas W/m²K

Transmitancia térmica W/m²K Masa/m² kg/m²
 Librería cerramientos:

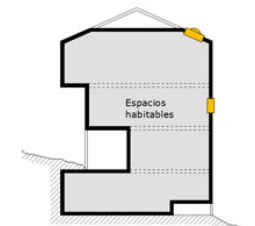
Figura 16. Definición de muros en CE3X

- Huecos:

Los huecos estarán asociados a cada uno de los muros de la fachada definidos con anterioridad, por lo que su orientación será la misma que la de estos. Es el aspecto donde se deben introducir más características. Se introducirán las dimensiones de cada uno de ellos, el porcentaje del hueco ocupado por el marco, la permeabilidad del hueco, la absortividad del marco, que se introducirá a partir del color de este, el patrón de sombras, si tiene, o si el hueco tiene doble ventana.

Envolvente térmica del edificio

Cubierta
 Muro
 Suelo
 Partición interior
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico



Hueco/Lucernario

Nombre: Orientación:

Cerramiento asociado:

Dimensiones

Longitud: m
 Altura: m
 Multiplicador:
 Superficie: m²
 Porcentaje de marco: %

Características

Permeabilidad del hueco: m³/m²
 Absortividad del marco:
 Dispositivo de protección solar
 Patrón de sombras:
 Doble ventana

Parámetros característicos del hueco

Propiedades térmicas Estimadas W/m²K

Tipo de vidrio: W/m²K
 Tipo de marco: W/m²K

Figura 17 Definición de huecos en CE3X

Respecto a las propiedades térmicas de los huecos, el programa cuenta con una amplia librería de tipos de vidrios y marcos, y además nos permitirá estimar las propiedades con parámetros más simples, como si el vidrio es doble o simple, o el tipo de material del marco.

El programa también permite la introducción de elementos de sombreado de huecos, como toldos, lamas, retranqueos o voladizos.

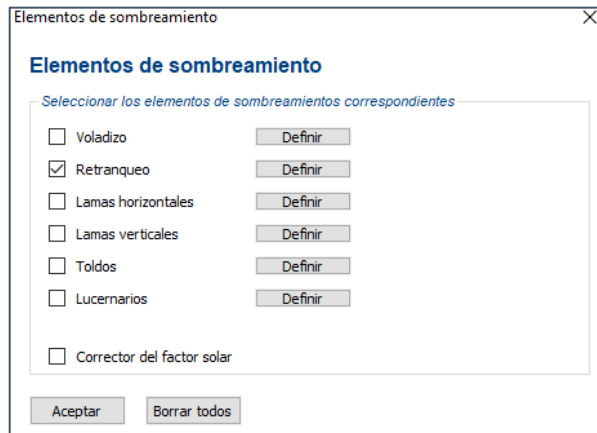


Figura 18. Introducción elementos de sombreado en huecos

- Particiones interiores:

Las particiones interiores en contacto con espacio no habitable pueden ser de tres tipos: vertical, horizontal en contacto con espacio no habitable superior y horizontal en contacto con espacio no habitable inferior.

Se deben indicar la superficie de la partición, las propiedades térmicas globales y el tipo de espacio con el que se encuentra en contacto.



Figura 19. Definición particiones interiores en CE3X

- Puentes térmicos:

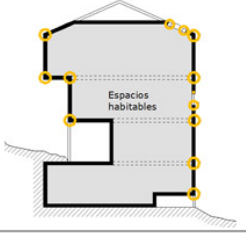
Los puentes térmicos se definen como la parte de la envolvente de un edificio donde el calor se transmite más fácilmente que en zonas próximas, debido a una variación de la resistencia térmica. Se trata de un lugar en el que se rompe la superficie aislante.

Una vez que han sido introducidos los elementos anteriormente descritos, el programa carga por defecto los puentes térmicos según las características de nuestra envolvente. Además, es posible editarlos para cambiar sus propiedades térmicas si así se considera necesario, o cambiar las longitudes de estos, puesto que el programa realiza una estimación que no siempre es correcta.

Un ejemplo de ello es la estimación que realiza del puente térmico de pilares integrados en fachada que calcula según la longitud del muro con una distancia media entre ellos pero que no siempre se asemeja con la realidad.

Envolvente térmica del edificio

Cubierta
 Muro
 Suelo
 Partición interior
 Huevo/Lucernario
 Puente térmico Definidos por usuario



Puente térmico por defecto

Definir puentes térmicos por defecto

Pilar integrado en fachada
 Pilar en esquina
 Contorno de hueco
 Caja de persiana
 Encuentro de fachada con forjado
 Encuentro de fachada con cubierta
 Encuentro de fachada con suelo en contacto con el aire
 Encuentro de fachada con solera

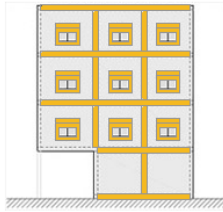


Figura 20. Definición puentes térmicos en CE3X

En el apartado de instalaciones el programa nos permite introducir las características de los equipos de iluminación, calefacción, refrigeración, ACS, equipos de aire primario y contribuciones energéticas de fuentes de energía renovable o cogeneración. Además, nos permite distinguir equipos de solo calefacción mixtos de calefacción y refrigeración, de calefacción y ACS etc.

Instalaciones del edificio

Equipo de ACS Contribuciones energéticas
 Equipo de sólo calefacción Equipos de iluminación
 Equipo de sólo refrigeración Equipos de aire primario
 Equipo de calefacción y refrigeración
 Equipo mixto de calefacción y ACS
 Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

Figura 21. Definición instalaciones del edificio en CE3X

Para cada uno de los equipos el programa introducir el tipo de generador, el tipo de combustible y la demanda cubierta. Según el tipo de generador y combustible que se haya seleccionado, será necesario introducir diferentes datos con los que el programa calculará los rendimientos medios estacionales.

En nuestro caso el suministro de ACS viene dado por calentadores que trabajan a Efecto Joule, y el cálculo del rendimiento medio estacional lo hará a partir del rendimiento nominal del equipo. El cálculo

Instalaciones del edificio

Equipo de ACS
 Equipo de sólo calefacción
 Equipo de sólo refrigeración
 Equipo de calefacción y refrigeración
 Equipo mixto de calefacción y ACS
 Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

Contribuciones energéticas
 Equipos de iluminación
 Equipos de aire primario

Equipos de iluminación

Nombre: Zona:

Características
 Superficie zona: m²

Eficiencia energética
 Zona de representación Actividad:

Definir características:

Potencia instalada: W
 Iluminancia media horizontal: lux

Figura 24. Definición equipos iluminación en CE3X

Cuando se introduce toda la información necesaria del edificio, este calcula su calificación energética, y detalla la demanda de calefacción y refrigeración, así como las emisiones asociadas a calefacción, refrigeración, ACS e iluminación.

El programa permite la opción de, una vez que se ha obtenido la calificación energética del edificio, introducir medidas de mejora y observar el efecto que estas producen.

Conjuntos de medidas definidos

- (i) Cambio Instalaciones térmicas e ilumina
- (i) Cambio Instalaciones térmicas
- (i) Iluminación LED
- (i) Edificio más rentable. Sólo envolvente.
- (i) Edificio con más ahorro. Sólo envolvente.
- (i) Edificio más rentable. Envlovente + LED
- (i) Edificio con más ahorro. Envlovente + L
- (i) Edificio más rentable. Envlovente + Equ
- (i) Edificio con más ahorro. Envlovente + E
- (i) Edificio más rentable. Sólo envolvente.
- (i) Edificio con más ahorro. Sólo envolvent
- (i) Edificio más rentable. Envlovente + LED
- (i) Edificio con más ahorro. Envlovente + L

Conjunto de medidas de mejora

Nombre conjunto medidas mejora:

Características:

Otros datos:

Listado medidas mejora incluidas en el conjunto

Medidas mejora	Tipo de medida
Nueva defrición de las instalaciones	Instalaciones

Añadir medida Modificar medida Borrar medida

Calificación energética del edificio con el conjunto de medidas de mejora

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro
Demanda de calefacción	69.2 E	69.2 E	0.0 %
Demanda de refrigeración	35.2 C	35.2 C	0.0 %
Emisiones de calefacción	14.4 B	18.4 C	21.9 %
Emisiones de refrigeración	5.6 C	7.2 C	21.8 %
Emisiones de ACS	19.2 G	19.2 G	0.0 %
Emisiones de iluminación	28.6 G	28.6 G	0.0 %
EMISIONES GLOBALES	67.8 E	73.4 F	7.6 %

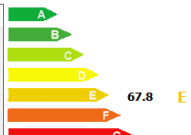


Figura 25. Interfaz del programa. Introducción medidas de mejora

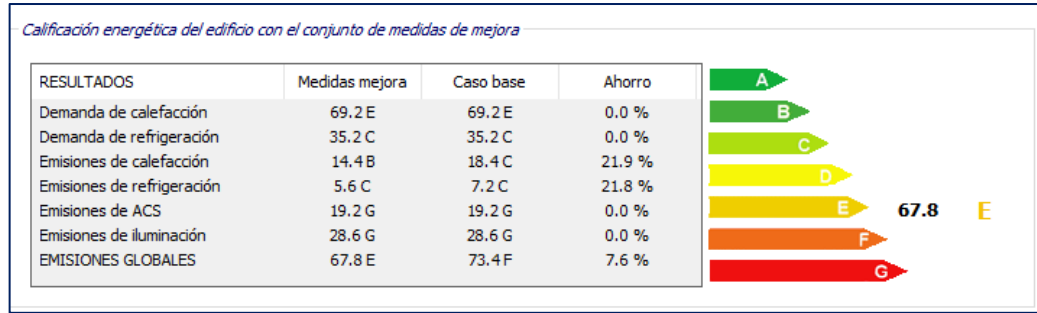


Figura 26. Resultados medidas de mejora ofrecidos por el programa.

El software cuenta con una extensa base de datos de materiales constructivos que facilita la labor de introducción de características de la envolvente, sobre todo, en la parte de propuesta de medidas de mejora. Además, es posible introducir materiales a partir del conocimiento de sus propiedades térmicas si no se encuentran recogidos.

La utilización del programa será fundamental para la realización de nuestro trabajo. Se realizará, a través de él, la certificación energética del edificio a tratar, obteniendo así el escenario de partida del edificio y que se utilizará como referencia. Posteriormente, se introducirán las distintas propuestas para mejorar la eficiencia energética, y, así, se obtendrán los ahorros que producen cada una de ellas.

6. Rehabilitación energética en edificios

La Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE 2014) establece las pautas a seguir la realización de la rehabilitación energética de un edificio. Se encuentra en línea con lo establecido en la Directiva de Eficiencia Energética, del 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, y que fue publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea el 14 de noviembre de 2012.

La nueva Directiva de Eficiencia Energética surge en un marco en el que se constata que la Unión Europea no va a alcanzar el objetivo de aumentar en un 20% la eficiencia energética en 2020. En este contexto ha sido necesario actualizar el marco legal de la Unión en materia de eficiencia energética, creando un marco común, mediante una Directiva que no sólo refuerce dicho objetivo, sino que también favorezca que las nuevas mejoras de eficiencia energética vayan más allá del 2020.

La estrategia incluye medidas de rehabilitación energética aplicables en edificios existentes, entre las que se destacan las siguientes por ser las que se tendrán en cuenta en el presente trabajo:

- Rehabilitación energética de la envolvente de los edificios.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas.
- Mejora de la eficiencia energética de iluminación interior.

Señala la importancia de tener en cuenta cómo para distintos tipos constructivos de edificaciones serán de aplicación distintas soluciones de rehabilitación del edificio.

El consumo energético de los edificios se distribuye entre climatización, iluminación, suministro de ACS y equipos eléctricos existentes. No obstante, es la climatización del edificio la que tiene un mayor peso en el consumo, un 47% según el IDAE. El porcentaje hasta un 64 % si se incluye el suministro de ACS.

El consumo de la iluminación depende de la potencia de los elementos que componen la instalación y del tiempo que estos estén en uso. Por otro lado, en el consumo de los equipos eléctricos existentes tendrá un elevado peso el llamado consumo “stand-by”, que hace referencia al consumo que tienen electrodomésticos, televisores y otros dispositivos cuando no están siendo utilizados pero sí están funcionando a una potencia determinada que, aun siendo baja, repercute en un elevado consumo por ser constante durante todo el día. Este consumo “stand-by” tiene una gran importancia en el consumo energético final del edificio, sin embargo, no será objeto de estudio su reducción en el presente trabajo.

El estudio de la implementación de una medida tendrá que ser estudiado y se realizará a través de la amortización de la inversión necesaria, que será calculada teniendo en cuenta el ahorro energético que se obtendrá y el ahorro económico al que este da lugar.

Generalmente las amortizaciones de instalaciones de iluminación y de electrodomésticos tienen un período de amortización de 10 años o menor, por lo que suele ser una medida muy viable teniendo también en cuenta la facilidad de su implementación. Comparado con esto, el cambio de equipos de climatización o de suministro de ACS suelen tener un de entre 20 y 30 años, y el cambio de la envolvente del edificio de 35 a 40 años, además de ser una obra mucho más complicada.

Sin embargo, estos datos nos sirven para tener una idea general, para la correcta rehabilitación de un edificio se debe analizar el caso particularmente, para ver cuáles son las medidas a aplicar que mejor se adaptan al caso de estudio. Además, existen subvenciones públicas enmarcadas en la lucha contra el cambio climático que hacen reducirse considerablemente estos períodos.

6.1. Factores que determinan las intervenciones.

Para introducir medidas de rehabilitación es necesario estudiar los factores que determinan el consumo energético del edificio. Son los siguientes:

- Uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones.
- Demanda energética del edificio, conociendo las pérdidas energéticas de este según transmisión o ventilación.
- Eficiencia de las instalaciones de térmicas y de iluminación.
- Fuentes de suministro energético del edificio.

El orden de intervención de las acciones no puede ser aleatorio y debe seguir las siguientes fases:

1. El mantenimiento y la racionalización del edificio es el primer ajuste que se debe llevar a cabo con objetivo de la eficiencia energética. No tiene sentido invertir en un equipo eficiente y posteriormente mejorar el uso y mantenimiento del edificio. Esto haría que los equipos estuvieran sobredimensionados.
2. La demanda energética del edificio corresponde a la demanda de calefacción y refrigeración. Esta depende del espacio del edificio, del uso del edificio, de la zona climática donde se encuentra y de las características de la envolvente del edificio: cantidad de huecos, orientación, propiedades térmicas de los cerramientos etc. Mejoras en la envolvente del edificio disminuirán la demanda de este, por lo que debe ser un paso previo a la hora de sustituir los equipos.

También se debe estudiar en esta fase la demanda de ACS del edificio, que dependerá de la zona climática, el tipo de uso de edificio y las personas que habiten en él.

3. Eficiencia de las instalaciones: se sustituirán las instalaciones térmicas una vez haya sido reducida la demanda. Así se podrá dimensionar correctamente los nuevos equipos. Se ha de mencionar que el cambio de la instalación de iluminación también repercute en la demanda del edificio, puesto que una variación de la potencia tiene efectos directos en ella. Es por ello que se debe realizar este cambio también de manera previa al de las instalaciones térmicas. También se debe incluir en este estudio la mejora de la eficiencia de los equipos de suministro de ACS.
4. Mejorar en las fuentes de suministro: el uso de energías limpias para el suministro del edificio se habrá de estudiar una vez se ha realizado mejoras en el uso, la demanda energética del edificio y la mejora de la eficiencia de las instalaciones, así se podrá estimar la amortización de su inclusión de una manera más realista. Este apartado irá ligado en numerosas ocasiones a la sustitución de las instalaciones.

6.2. Medidas de mejora para la rehabilitación de edificios

A continuación, se muestran algunas de las medidas que se proponen en la guía para los distintos aspectos señalados. No se tendrán en cuenta en la elaboración del trabajo las mejoras de usos y mantenimientos del edificio, puesto que corresponden a un trabajo de explicación y concienciación que no es objeto de estudio. Tampoco se incluye el control de la ventilación del edificio.

6.2.1. Reducción de la demanda a partir de acciones en la envolvente del edificio

La intervención que se propone aquí es la mejora del aislamiento de cada una de las partes que la forman la envolvente.

1. Para la fachada del edificio se propone introducir a la máxima eficiencia el aislamiento térmico (hasta que ya no se produzca una mejora en la eficiencia). Para la mejora del aislamiento térmico de los muros que conforman la fachada existen dos opciones:
 - Aislamiento por el interior:
 - Rellenando la cámara de aire del muro con un material aislante. Existen numerosas técnicas que permiten su viabilidad.
 - Mediante la unión de un sistema de revestimiento interno y un acabado interno, "doblando" la envolvente para unirla con una capa aislante.
 - Aislamiento por el exterior:
 - Interviniendo en la cara exterior de la pared y transformando su aspecto inicial para darle aislamiento continuo así como, necesariamente, nueva impermeabilización a través de un aislamiento externo y acabado en el exterior con mortero. En comparación con el aislamiento en el interior, esta intervención por el exterior hace que sea fácilmente posible mejorar notablemente los efectos de los puentes térmicos.

2. Para los huecos del edificio se propone mejorar el aislamiento térmico y la estanqueidad contra fugas. Se propone tanto remplazar el marco por uno que tenga propiedades térmicas más adecuadas, como la sustitución del acristalamiento por uno doble que se adecúe a nuestras exigencias.

Agregar una doble ventana es otra opción a considerar, ya que permite aumentar considerablemente la resistencia térmica de la apertura, aunque su configuración constructiva no siempre lo permite. Finalmente, también se debe considerar la adición de un sistema de sombreado solar viable (lamas, toldos, voladizos), donde ya no exista uno.

3. Para la cubierta se propone también la adición de aislante térmico hasta obtener la máxima eficiencia. Existen dos casos diferenciados:
 - Para cubiertas inclinadas:
 - Si no hay cámara de aire se añade aislamiento térmico a la composición de la cubierta.
 - Si hay cámara de aire y es accesible se puede añadir aislamiento térmico en dicha cámara.
 - Para cubiertas planas se añade una capa de aislamiento térmico y una protección transitable superior a éste.

4. Para suelos una vez más se propone la adición al máximo de eficiencia del aislamiento térmico. Se fija una capa de aislamiento térmico al suelo existente y se añade una nueva capa de suelo. Para suelos suspendidos, se añade el aislamiento térmico en el espacio.

6.2.2. Mejora de la eficiencia energética de la iluminación interior

La mejora de las instalaciones de iluminación tratará de utilizar soluciones tecnológicas más eficientes. Realizando el inventario de la luminaria del edificio y analizando las necesidades lumínicas de este, se propondrá una nueva instalación de iluminación que nos proporcione un mayor ahorro.

Si bien, este cambio puede tener efectos cruzados con la demanda de refrigeración y calefacción. Al disminuir la potencia la demanda en refrigeración disminuirá y la de calefacción se verá aumentada, por lo que esta sustitución debe tenerse en cuenta para el cálculo de la demanda energética del edificio.

6.2.3. Mejora de la eficiencia de las instalaciones térmicas.

Después de reducir significativamente la demanda energética del edificio a partir de las mejoras en la envolvente del edificio, la mejora de la eficiencia de las instalaciones térmicas es el siguiente paso para reducir el consumo energético. Además, en este apartado engloba el cambio de fuentes de consumo, ya que algunos cambios de instalaciones térmicas van de la mano de nuevas fuentes, como puede ser el caso del abastecimiento de ACS con energía solar térmica y/o biomasa.

Como es lógico, los cambios de instalaciones térmicas serán estudiados caso a caso y siempre teniendo en cuenta las características de los equipos anteriores y requerimientos del edificio. Las medidas a adoptar varían desde el cambio de bombas de calor eléctricas por otras más eficientes hasta el uso de una instalación de biomasa para cubrir la demanda de ACS del edificio.

Además, se tratará de sustituir los combustibles menos eficientes energéticamente y con peores efectos medioambientales y se estudiará la introducción de energías renovables siempre que sea viable técnica y económicamente.

7. Estimación energética del edificio

El edificio objeto de estudio del presente trabajo no ha sido sometido a una auditoría energética, aunque sí se conoce el consumo eléctrico anual de electricidad, proporcionado por el propio Ayuntamiento de Blanca.

Para estimar el consumo de las distintas fuentes, ha sido necesario aplicar reglas de contabilidad energética. La metodología llevada a cabo para su realización ha sido la siguiente:

- El consumo por iluminación se ha calculado a partir de la potencia instalada con balastos, estimando el número de horas de uso al día para cada uno de los meses y aplicando un factor de simultaneidad de del 70%.

	Horas utilización luz	Factor simultaneidad
Enero	6	0,7
Febrero	5	0,7
Marzo	5	0,7
Abril	4	0,7
Mayo	4	0,7
Junio	3	0,7
Julio	3	0,7
Agosto	4	0,7
Septiembre	5	0,7
Octubre	6	0,7
Noviembre	6	0,7
Diciembre	6	0,7

Tabla 4. Horas de utilización luz y factor de simultaneidad por mes

$$\text{Consumo iluminación (kWh)} = \text{Pot. instalada (kW)} \cdot n^{\circ} \text{ de horas uso (h)} \cdot f \text{ simultaneidad}$$

- El consumo correspondiente de ACS se ha obtenido a partir de la demanda unitaria que se establece en el DB-HE 4. En el documento se recoge una demanda diaria de 41 litros por persona para residencias de mayores y de 8 litros por persona para restaurantes, cuya inclusión es necesaria por el servicio de comedor del edificio. En el edificio residen 66 personas, luego se obtiene una demanda unitaria de 3.234 litros por día.

$$\text{Consumo (l/día)} = 66 \text{ pers.} \cdot (41 \text{ l/pers} + 8 \text{ l/pers}) = 3.234 \text{ l/día}$$

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

Figura 27. Demanda de referencia a 60°C

Los calentadores individuales elevan la temperatura del agua a través del Efecto Joule. La cantidad de energía necesaria para calentar el agua se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$Q(kJ) = m(kg) \cdot C_p \text{ agua}(kJ/kg^{\circ}C) \cdot (t_{\text{agua cal}}(^{\circ}C) - t_{\text{agua red}}(^{\circ}C))$$

$$= 3.234(kg) \cdot 4,18(kJ/kg^{\circ}C) \cdot (60^{\circ}C - t_{\text{agua red}}(^{\circ}C))$$

$$\text{Consumo ACS diario (kWh)} = Q(kJ) / 3600(s/h)$$

Se ha determinado que el valor de la temperatura de suministro de agua caliente es de 60°C. El valor de la temperatura de agua de la red viene establecido en el DB-HE4, por cada mes y capital de provincia. La temperatura establecida para la ciudad de Murcia es la siguiente:

Tª agua de red °C	
Enero	11
Febrero	11
Marzo	12
Abril	13
Mayo	15
Junio	17
Julio	19
Agosto	20
Septiembre	18
Octubre	16
Noviembre	13
Diciembre	11

Tabla 5. Temperatura agua de red ciudad de Murcia

Además, el documento básico proporciona unos factores de corrección de la temperatura en caso de que la localidad no coincida con la capital de la provincia. La temperatura media mensual (T_{redY}) estará definida por la temperatura de la capital de provincia (T_{redCP}) y la diferencia de altura de la localidad en cuestión con respecto a esta:

$$T_{redY} = T_{redCP} - B \cdot A_z$$

Donde B adquiere el valor de 0,010 para los meses de octubre a marzo y de 0,005 para los meses de abril a septiembre y A_z es igual a 190, la diferencia de altitud entre el municipio de Blanca y la ciudad de Murcia. Así pues, aplicando la corrección, la temperatura de agua fría mensual para el municipio de Blanca queda recogida en la siguiente tabla:

Tª agua de red °C	
Enero	9,10
Febrero	9,10
Marzo	10,10
Abril	12,05
Mayo	14,05
Junio	16,05
Julio	18,05
Agosto	19,05
Septiembre	17,05
Octubre	14,10
Noviembre	11,10
Diciembre	9,10

Tabla 6. Temperatura agua de red municipio de Blanca

- Un 12% del consumo total estará producido por 'Otros'. Este consumo también se denomina consumo "stand-by", y se refiere a todos aquellos aparatos que aun no siendo utilizados, están funcionando continuamente a una potencia pequeña. Es el caso de la televisión, horno o microondas, que se encuentran en stand-by durante todo el día a no ser que estén en funcionamiento.

$$Otros (kWh) = 0,12 \cdot Consumo\ total (kWh)$$

- Una vez se han obtenido los consumos por iluminación y ACS, y considerando un consumo por parte de 'Otros' de un 12%, se ha calculado el consumo por calefacción y refrigeración para cada uno de los meses como la diferencia del consumo total menos los debidos a iluminación, ACS y 'Otros'. Este valor ha sido asignado para calefacción de los meses octubre a marzo y para refrigeración en los restantes.

$$Climatización (kWh) = Total (kWh) - Iluminación (kWh) - ACS(kWh) - Otros (kWh)$$

Una vez llevada a cabo la metodología explicada, los resultados de la estimación energética son:

	Iluminación (kWh)	ACS (kWh)	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kWh)	Otros (kWh)	Total (kWh)
Enero	3.547,62	5.925,07	17.512,51		3.679,80	30.665,00
Febrero	2.670,26	5.351,67	11.989,27		2.728,80	22.740,00
Marzo	2.956,35	5.808,66	13.409,23		3.023,76	25.198,00
Abril	2.288,79	5.401,62		9.144,87	2.295,72	19.131,00
Mayo	2.365,08	5.348,86		6.734,78	1.970,28	16.419,00
Junio	1.716,59	4.951,01		13.439,52	2.741,88	22.849,00
Julio	1.773,81	4.883,23		18.470,47	3.426,48	28.554,00
Agosto	2.365,08	4.766,83		13.242,73	2.778,36	23.153,00
Septiembre	2.860,99	4.838,36		23.239,69	4.218,96	35.158,00
Octubre	3.547,62	5.343,04	6.229,50		2.061,84	17.182,00
Noviembre	3.433,19	5.508,63	6.026,10		2.041,08	17.009,00
Diciembre	3.547,62	5.925,07	11.965,87		2.923,44	24.362,00
Total año	33.073,02	64.052,04	67.132,47	84.272,07	33.890,40	282.420,00
(%)	11,71	22,68	23,77	29,84	12,00	

Tabla 7. Estimación energética del edificio

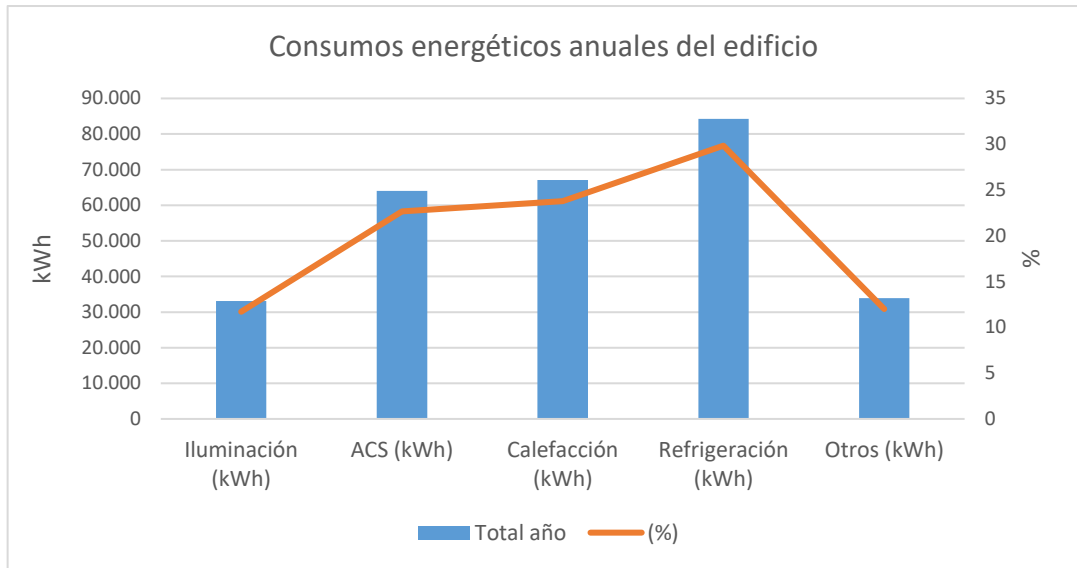


Figura 28. Consumos energéticos anuales del edificio

Esta será la estimación energética de partida sobre la que se aplicarán los ahorros porcentuales obtenidos por el programa para analizar cuáles son las medidas de mejora más adecuadas. Todos los ahorros serán calculados para el total de un año.

8. Análisis energético de las mejoras propuestas

8.1. Metodología para la selección de medidas

El análisis energético de las mejoras propuestas se realizará, como ya se ha mencionado con anterioridad, a partir de CE3X. En el software se introducirán las distintas soluciones propuestas para la mejora de la eficiencia energética, con lo que se obtendrá el ahorro relativo a aplicar al consumo del edificio.

Todas las medidas se han introducido de forma desacoplada, es decir, sobre el edificio base se ha introducido cada medida de manera independiente y sin tener en cuenta ninguna otra mejora ni los efectos cruzados que en un principio se pudieran originar.

Las medidas propuestas tienen interacción entre ellas, por ejemplo: al cambiar los equipos de iluminación que llevará consigo una variación de la potencia instalada, no solo reducirá el consumo debido a iluminación, sino que la demanda de calefacción y refrigeración se verá afectada. También la renovación en la envolvente tendrá una influencia en los equipos de climatización, ya que la demanda se verá de nuevo afectada. Es decir, aunque las medidas se propongan de manera desacoplada para la mayor sencillez a la hora su selección, las distintas soluciones interactúan entre sí y se han de tener en cuenta estos efectos a la hora de su selección.

Es importante recalcar que CE3X no ofrece ahorros de consumo reales del edificio, el programa realiza una simulación teórica del comportamiento del edificio y su demanda en ese año y no coincide con la real del edificio. Lo que hace CE3X es analizar la diferencia de demanda de los edificios del escenario final prevista y el escenario eficiente posterior a la mejora y a partir de dicha diferencia obtener el ahorro relativo, que coincide con el ahorro en consumo.

Además, el programa ofrece las emisiones de kg de CO₂ asociadas al suministro de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación. Este indicador nos será de utilidad para conocer el ahorro energético de la sustitución equipos de climatización y de iluminación, ya que las emisiones están asociadas al consumo eléctrico, por lo que el ahorro relativo en emisiones de CO₂ será el mismo que el de consumo.

Estos ahorros relativos son los que se aplicarán a la estimación energética del edificio anteriormente detallada para obtener los ahorros energéticos totales en el consumo anual del edificio.

Las soluciones propuestas para la rehabilitación de la envolvente se han presupuestado a partir de la base de precios desarrollada por el Instituto Valencia de la Edificación (IVE), actualizada en junio de 2017. Esta base de precios incluye el coste unitario de las distintas soluciones ofertadas, tanto para cerramientos opacos como para los huecos. En este precio quedan incluidos no sólo los materiales, sino también la mano de obra necesaria para la instalación y otros costes directos complementarios. Para las instalaciones térmicas y de iluminación se ha acudido a empresas suministradoras.

Para la selección de las medidas se propone un parámetro de rentabilidad que se define como la relación entre el ahorro energético anual y el coste de la inversión necesaria.

$$PR \text{ (Parámetro rentabilidad)} = \frac{\text{ahorro anual kWh}}{\text{coste de la inversión (€)}}$$

Entre todas las soluciones propuestas, en el caso de que existan diferentes opciones, se seleccionará como la solución más rentable aquella que presente un mayor parámetro de rentabilidad.

Se considerará que son elegibles como soluciones aquellas que se encuentren dentro de un límite de rentabilidad igual al 80% del valor del parámetro de rentabilidad mayor de las medidas propuestas. Entre todas las que satisfagan este criterio de rentabilidad mínima, se seleccionará la que nos proporcione un mayor ahorro energético como la solución de mayor ahorro.

$$\text{Límite rentabilidad} = 0,8 \cdot PR \text{ máximo}$$

Así pues, para cada una de las medidas propuestas se seleccionarán la más rentable y la de mayor ahorro total, por lo que se obtendrán dos edificios con soluciones diferentes: uno de ellos con las soluciones más rentables y otro de ellos con las de mayor ahorro total.

En los siguientes apartados se recogen las distintas soluciones que han sido propuestas, tanto de renovación de la envolvente del edificio como de las instalaciones térmicas y de iluminación.

8.2. Mejora en las instalaciones de iluminación interior

Como mejora de la eficiencia energética de la iluminación interior, se propone el cambio a tecnología LED de todas las luminarias existentes en el edificio. La potencia instalada pasa de ser 27.247,50 W con balastos a 11.143,75W, según un estudio realizado por autoridades locales. Esto supondrá una gran reducción de la potencia instalada, que conlleva una disminución del consumo eléctrico debido a iluminación provocado por la menor potencia de iluminación.

	nº	Potencia actual (W)	Potencia LED (W)
Pantalla	146	72	40
Fluorescente	38	58	21
Fluorescente	52	36	18
Fluorescente compacto	15	56	18
Bombilla halógena	33	50	5
Bombilla incandescente	58	60	7
Campana	4	250	100
Proyector	2	120	50

Tabla 8. Sustitución de luminaria en el edificio



Figura 29. Evolución elementos de iluminación.

El cambio de la instalación de iluminación a tecnología LED conlleva una bajada de la potencia instalada que reduce la carga interna del edificio durante todo el año, por lo que no solo habrá que contabilizar el ahorro producido por la iluminación, sino que también se debe tener en consideración la reducción de la demanda de refrigeración y el incremento de la de calefacción. Las variaciones en la demanda del edificio se muestran en la Tabla 9.

	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)
Caso base	69,20	-	-	35,20	-	-
Cambio a Tecnología LED	77,70	-8,50	-12,28	31,10	4,10	11,64

Tabla 9. Variaciones en la demanda de calefacción y refrigeración provocada por el cambio a tecnología LED

Los ahorros obtenidos por el programa en los distintos apartados al realizar la sustitución de la instalación de iluminación se representan en la Tabla 8:

	Iluminación (kWh)	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kWh)	ACS (kWh)	Otros (kWh)	Total (kWh)
Caso Base	33.073,02	67.132,47	84.272,07	64.052,04	33.890,40	282.420,00
Cambio a tecnología LED	13.526,87	75.376,34	74.462,80	64.052,04	33.890,40	261.308,45
Ahorro kWh	19.546,15	-8.243,87	9.809,27	-	-	21.111,55
Ahorro (%)	59,10	-12,28	11,64	-	-	7,47

Tabla 10. Ahorros energéticos producidos por el cambio a tecnología LED

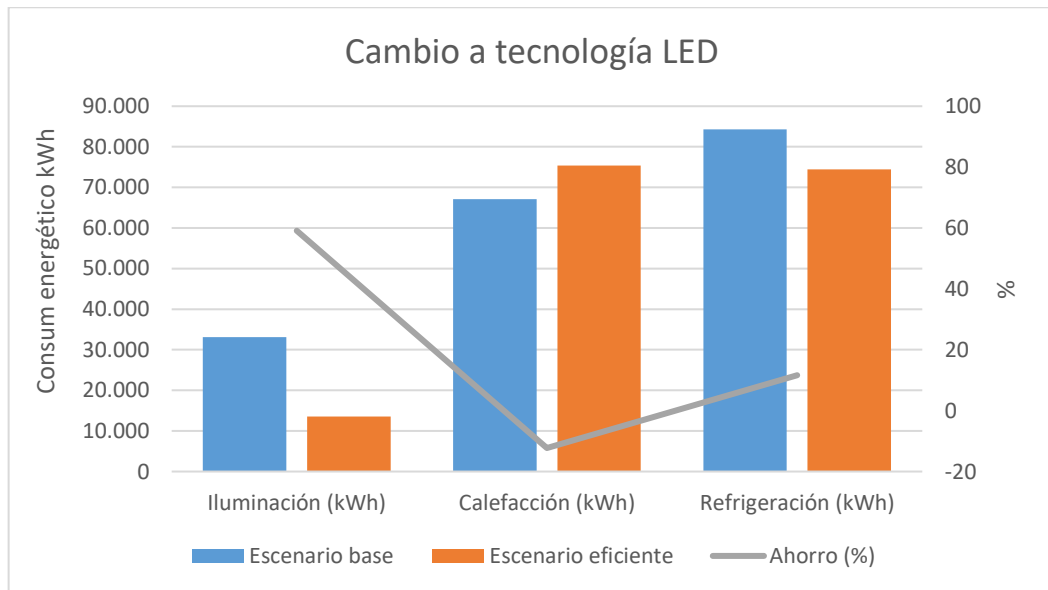


Figura 30. Ahorros energéticos producidos por el cambio a tecnología LED

Como se puede observar, el simple cambio a tecnología LED de la luminaria del edificio da lugar a un gran ahorro energético. El ahorro en iluminación es de gran magnitud y los efectos que tiene este en la calefacción y refrigeración del edificio se neutralizan con un efecto positivo debido al mayor consumo de por refrigeración de nuestro edificio.

El coste del cambio de la luminaria es de 27.167,19 € y el parámetro de rentabilidad del cambio se muestra en la Tabla 11.

	Coste (€)	Ahorro energético (kWh)	PR
Cambio a tecnología LED	27.167,19	21.111,55	0,78

Tabla 11. PR cambio a tecnología LED

La figura 31, incluida en la sección HE3 del Documento Básico, recoge los valores límite de potencia instalada en el edificio por unidad de superficie. Después del cambio a tecnología LED se ha calculado el valor de la potencia instalada por superficie y se ha obtenido un valor de 5,28 W/m², con lo que se cumple de manera clara con lo establecido en la norma para todos los usos posibles del edificio.

$$Potencia\ instalada = \frac{11.143,75\ W}{2.108,59\ m^2} = 5,28\ W/m^2$$

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m2]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Figura 31. Potencia máxima de iluminación según uso del edificio.

Por otro lado, la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Donde:

P: potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W);

S: superficie iluminada (m²);

E_m: la iluminancia media horizontal mantenida (lux).

Para el nuevo escenario, y considerando una iluminancia media de 300 lux, el valor del VEEI es:

$$VEEI = \frac{11.143,75\ W \cdot 100}{2.108,59\ m^2 \cdot 300} = 1,76\ W/m^2$$

En la figura 32, donde se muestran los valores límite de eficiencia energética de la instalación, si se tiene en consideración como zonas de actividad de nuestro edificio, hostelería y restauración, y habitaciones y salas de reuniones, se cumple sobradamente con las exigencias del DB HE3.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Figura 32. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

8.3. Mejora por renovación de la envolvente térmica

La envolvente de un edificio es un aspecto fundamental a tener en cuenta en la rehabilitación energética de un edificio. Una envolvente que disponga de aislamientos y un diseño de huecos adecuados, supondrá una gran disminución en la demanda del edificio en cuanto a su climatización.

Se estima que aproximadamente un 35% de la pérdida de calor en un edificio se debe a fachadas inadecuadamente aisladas, las cubiertas mal aisladas son responsables del 25% de las pérdidas, el suelo es también responsable de un 15% de estas pérdidas y 25% restante de las pérdidas energéticas se produce a través de ventanas y puertas⁵.

Es por ello que la rehabilitación energética de un edificio debe considerar estas cuatro posibilidades, ya que cualquiera de ellas puede conllevar un gran ahorro energético.

8.3.1. Mejora en el aislamiento de los cerramientos opacos

A continuación, se exponen las distintas soluciones de la primera parte de la rehabilitación energética del edificio: la mejora en el aislamiento de los cerramientos opacos.

⁵ Medidas pasivas de la mejora de la eficiencia energética. Instituto Valenciano de la Edificación.

8.3.1.1. Cubierta

La cubierta del edificio cuenta con una superficie total de 1.443,66 m². Es una cubierta plana transitable. Al carecer de más información, el valor de la transmitancia térmica ha sido calculado por defecto por el programa.

Como medida para la mejora de la eficiencia energética del edificio, se propone añadir un aislamiento térmico en la cubierta. Como se explicó con anterioridad, para añadir aislamiento térmico en cubiertas planas se añade una capa aislante y una protección transitable encima de este. Han sido estudiados y presupuestados distintos tipos de aislamiento y se han seleccionado distintas características, espesor y conductividad térmica, para cada uno de los tipos de aislamiento propuesto.

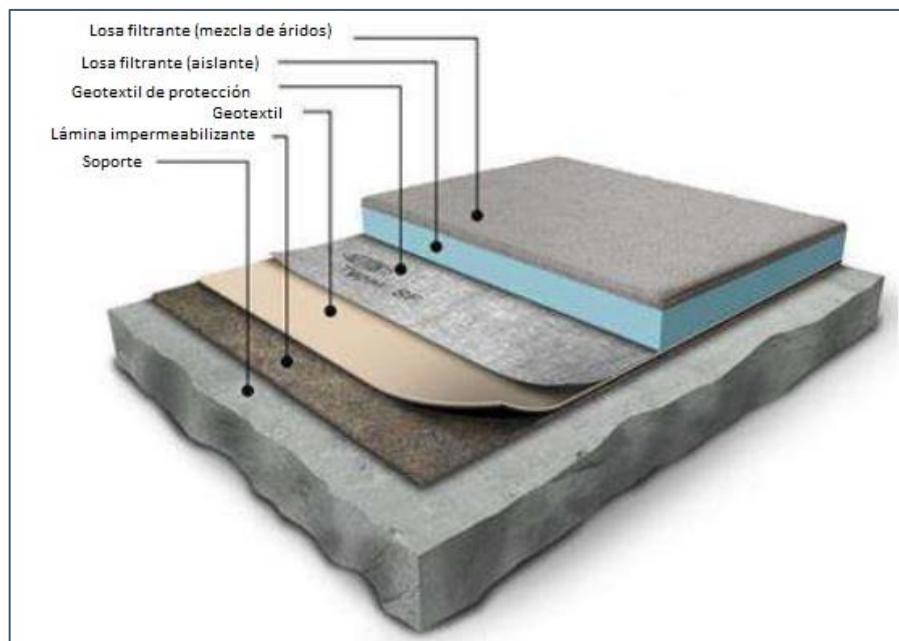


Figura 33. Disposición aislante en la cubierta

Se exponen a continuación los diferentes aislamientos que han sido propuestos:

- Lana mineral (MW): aislamiento térmico en cubiertas planas tradicionales transitables, sin revestimiento, reacción al fuego Euroclase A1.
- Poliestireno extruido (XPS): aislamiento térmico en cubiertas planas tradicionales transitables, mecanizado lateralmente y superficie lisa, reacción al fuego Euroclase E.
- Poliestireno expandido (EPS): aislamiento térmico en cubiertas planas transitables, mecanizado lateral recto y superficie lisa, reacción al fuego Euroclase E.
- Panel de vidrio celular (CG): aislamiento térmico en cubiertas planas tradicionales transitables, reacción al fuego Euroclase A1, aplicadas mediante baño asfáltico en caliente reflatando las juntas:
- Planchas de espuma rígida de poliisocianurato (PIR): aislamiento en cubiertas planas convencionales, revestidas por las dos caras con papel kraft y mecanizadas lateralmente con aluminio.

- Proyección de espuma de poliuretano de celda cerrada (PUR proyectado): aislamiento de cubierta plana transitable, densidad de aplicación entre 45 y 65 kg/m³ reacción al fuego Euroclase E.
- Paneles de poliuretano (PUR): aislamiento térmico en cubierta plana convencional, mecanizados lateralmente.

En las descripciones de los aislamientos se incluye el dato de la reacción al fuego. Esta clasificación viene dada por las Euroclases que combinan niveles de potencial energético, opacidad de los humos y formación de gotas para definir la resistencia al fuego según la norma UNE-EN 13501-1.

Atendiendo el potencial energético las Euroclases establecen siete niveles;

Clase	Interpretación
A1	No combustible.
A2	Poco combustible. No causa Flashover.
B	No causa Flashover.
C	Flashover a los 10 minutos.
D	Flashover antes de 10 minutos.
E	Flashover antes de 2 minutos.
F	Sin clasificar. Sin comportamiento determinado.

Tabla 12. Clasificación de materiales según potencial energético

La clasificación de los materiales según el potencial energético se realiza a partir del concepto Flashover o combustión súbita generalizada, fenómeno que se observa en incendios confinados en los cuales de forma repentina todas las superficies combustibles, que hasta ese momento no estaban implicadas en el incendio, comienzan a arder a consecuencia de la radiación proveniente de las llamas.

Exceptuando las Euroclases A1 y F, el resto de las clases se complementan con dos clasificaciones: una relativa a la emisión de humos, y la otra a la producción de gotas o partículas inflamadas.

Los indicadores adicionales de opacidad de los humos generados se muestran en la Tabla 13:

Clase	Interpretación
s1	Producción baja de humos.
s2	Producción media de humos.
s3	Producción alta de humos.

Tabla 13. Clasificación de materiales según opacidad humos generados

Por último, los indicadores adicionales de caída de partículas inflamadas son:

Clase	Interpretación
d0	No se producen gotas inflamadas.
d1	No hay gotas inflamadas de duración superior a 10 segundos.
d2	Productos que no se clasifican ni en d0 ni d1. Caída de gotas inflamadas.

Tabla 14. Clasificación de materiales según caída partículas inflamadas

La clasificación de los materiales será la resultante de la combinación de las prestaciones en cada uno de estos aspectos. En numerosas ocasiones los aislantes solo se encuentran catalogados atendiendo al potencial energético, sin los indicadores complementarios de opacidad de humos y caída de partículas inflamadas.

En las siguientes tablas se presentan las soluciones que han sido introducidas directamente en el programa CE3X, representando el tipo de aislamiento y sus características, el coste, el ahorro energético y el parámetro de rentabilidad.

Las características térmicas de los aislamientos vienen dadas por el espesor, expresado en mm, y la conductividad térmica, λ , que mide la capacidad del aislamiento de conducir el calor y se expresa en W/mK. Las distintas soluciones serán incluidas en la tabla mediante la siguiente estructura: Tipo de aislamiento – espesor (cm) – conductividad térmica (W/mK).

Tipo de aislamiento	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
MW-4-0,039	64,80	4,40	6,30	4.229,35
MW-6-0,039	63,90	5,30	7,70	5.169,20
MW-4-0,040	64,90	4,30	6,20	4.162,21
MW-6-0,040	63,90	5,30	7,60	5.102,07
XPS-4-0,029	64,10	5,10	7,30	4.900,67
XPS-6-0,029	63,20	6,00	8,70	5.840,53
XPS-4-0,034	64,50	4,70	6,80	4.565,01
XPS-6-0,034	63,50	5,70	8,20	5.504,86
PUR proy-4-0,032	64,40	4,80	7,00	4.699,27
PUR proy-6-0,032	63,40	5,80	8,40	5.639,13
PUR proy-4-0,036	64,60	4,60	6,60	4.430,74
PUR proy-6-0,036	63,70	5,50	8,00	5.370,60
EPS-4-0,035	64,60	4,60	6,70	4.497,88
EPS-6-0,035	63,60	5,60	8,10	5.437,73
EPS-4-0,036	64,60	4,60	6,60	4.430,74
EPS-6-0,036	63,70	5,50	8,00	5.370,60
CG-4-0,048	65,30	3,90	5,60	3.759,42
CG-6-0,048	64,40	4,80	7,00	4.699,27
PUR panel-4-0,023	63,60	5,60	8,10	5.437,73
PUR panel-6-0,023	62,70	6,50	9,40	6.310,45
PUR panel-4-0,023	63,80	5,40	7,80	5.236,33
PUR panel-6-0,023	62,80	6,40	9,20	6.176,19
PIR-4-0,023	63,60	5,60	8,10	5.437,73
PIR-6-0,023	62,70	6,50	9,40	6.310,45

Tabla 15. Resultados en calefacción soluciones propuestas en cubierta

Tipo de aislamiento	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
MW-4-0,039	35,60	-0,40	-1,00	-842,72
MW-6-0,039	35,70	-0,50	-1,30	-1.095,54
MW-4-0,040	35,60	-0,40	-1,00	-842,72
MW-6-0,040	35,70	-0,50	-1,30	-1.095,54
XPS-4-0,029	35,60	-0,40	-1,20	-1.011,26
XPS-6-0,029	35,70	-0,50	-1,50	-1.264,08
XPS-4-0,034	35,60	-0,40	-1,10	-926,99
XPS-6-0,034	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
PUR proy-4-0,032	35,60	-0,40	-1,10	-926,99
PUR proy-6-0,032	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
PUR proy-4-0,036	35,60	-0,40	-1,00	-842,72
PUR proy-6-0,036	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
EPS-4-0,035	35,60	-0,40	-1,10	-926,99
EPS-6-0,035	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
EPS-4-0,036	35,60	-0,40	-1,00	-842,72
EPS-6-0,036	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81

CG-4-0,048	35,50	-0,30	-0,80	-674,18
CG-6-0,048	35,60	-0,40	-1,10	-926,99
PUR panel-4-0,023	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
PUR panel-6-0,023	35,80	-0,60	-1,70	-1.432,63
PUR panel-4-0,023	35,70	-0,50	-1,30	-1.095,54
PUR panel-6-0,023	35,80	-0,60	-1,60	-1.348,35
PIR-4-0,023	35,70	-0,50	-1,40	-1.179,81
PIR-6-0,023	35,80	-0,60	-1,70	-1.432,63

Tabla 16. Resultados refrigeración soluciones propuestas en cubierta

Tipo de aislamiento	Coste (€/m ²)	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
MW-4-0,039	13,40	19.349,06	3.386,63	0,175
MW-6-0,039	17,96	25.933,52	4.073,66	0,157
MW-4-0,040	14,72	21.255,09	3.319,49	0,156
MW-6-0,040	20,43	29.500,10	4.006,53	0,136
XPS-4-0,029	8,85	12.779,05	3.889,41	0,304
XPS-6-0,029	11,66	16.836,57	4.576,44	0,272
XPS-4-0,034	9,40	13.573,22	3.638,02	0,268
XPS-6-0,034	12,48	18.020,62	4.325,05	0,240
PUR proy-4-0,032	14,66	21.168,45	3.772,28	0,178
PUR proy-6-0,032	19,46	28.099,46	4.459,32	0,159
PUR proy-4-0,036	14,21	20.518,67	3.588,02	0,175
PUR proy-6-0,036	18,80	27.146,45	4.190,79	0,154
EPS-4-0,035	11,18	16.143,47	3.570,88	0,221
EPS-6-0,035	15,15	21.875,99	4.257,92	0,195
EPS-4-0,036	9,91	14.309,64	3.588,02	0,251
EPS-6-0,036	13,24	19.118,03	4.190,79	0,219
CG-4-0,048	39,65	57.253,01	3.085,24	0,054
CG-6-0,048	55,95	80.789,56	3.772,28	0,047
PUR panel-4-0,023	22,37	32.301,39	4.257,92	0,132
PUR panel-6-0,023	32,95	47.578,48	4.877,83	0,103
PUR panel-4-0,023	11,77	16.995,41	4.140,80	0,244
PUR panel-6-0,023	17,07	24.648,40	4.827,83	0,196
PIR-4-0,023	10,87	15.692,58	4.257,92	0,271
PIR-6-0,023	14,97	21.611,59	4.877,83	0,226
Límite rentabilidad: 0,8-0,304=0,243				
Solución más rentable: XPS-4-0,029				
Solución de mayor ahorro: XPS-6-0,029				

Tabla 17. Análisis económico soluciones propuestas en cubierta



Figura 34. Paneles XPS

Como se puede observar, los ahorros tanto en calefacción y refrigeración varían según las características del aislamiento, pero todos coinciden en que se produce un ahorro en la demanda de calefacción del

edificio y un incremento, aunque menor, en la de refrigeración. Por este motivo, las soluciones escogidas no serán simplemente las que hagan reducir la demanda en calefacción en un mayor grado, sino la que combine esta reducción con un menor aumento de la refrigeración.

Las soluciones obtenidas tanto de rentabilidad como de ahorro son las siguientes:

- Solución más rentable: Poliestireno extruido (XPS). Espesor (e) = 40mm. Conductividad térmica $\lambda = 0,029$ (W/mK).
- Solución con más ahorro: Poliestireno extruido (XPS). Espesor (e) = 60mm. Conductividad térmica $\lambda = 0,029$ (W/mK).

Las soluciones implementadas en la cubierta del edificio, disminuyen la transmitancia térmica del edificio hasta $U=0,40$ (W/m²K) para la solución más rentable, y hasta $U=0,31$ (W/m²K) para la solución de mayor ahorro, reduciéndose considerablemente del valor que el programa consideraba por defecto de $U=0,90$ (W/m²K).

La transmitancia térmica (U) se define como el flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.⁶ Este valor de transmitancia térmica de la cubierta rehabilitada, cumple, en ambos casos, con lo establecido en el DB HE1, que para la zona climática C3, establece la transmitancia límite en 0,50 (W/m²K).

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Figura 35. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente

8.3.1.2. Fachada

La fachada del edificio cuenta con un aislamiento de lana mineral colocado por el interior, de espesor de 43 mm y una conductividad térmica λ (W/mK) = 0,0405. Aunque este punto no se ha podido verificar mediante cata, esta información se ha extraído del proyecto del edificio. Dicho aislamiento supone una reducción del 7,98% en la demanda de calefacción y del 2,16% en la de refrigeración respecto al escenario del edificio sin aislamiento, que contara en lugar de él con una cámara de aire sin ventilar de 2 cm.

Al disponer de aislamiento por el interior de la fachada no se ha considerado la posibilidad de cambiarlo, ya que no sería rentable realizar una obra de esa envergadura. Sin embargo, se ha estudiado la posibilidad de añadir una segunda capa de aislamiento térmico por el exterior.

Los tipos de aislamiento propuestos son los siguientes:

⁶ DB HE1.

- Poliestireno expandido (EPS):

Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE-ETICS) con una resistencia térmica de 0,97 m²K/W, suministrado e instalado conforme a su correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo⁷ (DITE), compuesto por: Aislamiento térmico a base de paneles rígidos de poliestireno expandido (EPS) con una conductividad térmica de 0,031 W/mK, un espesor de 30mm, una reacción al fuego Euroclase E, con marcado CE y según la UNE-EN 13163 y UNE-EN 13499, fijados al soporte mediante mortero de cemento con resinas y aditivos y espigas de anclaje mecánico dispuestas en el perímetro, esquinas y centro de los paneles.

- Poliestireno extruido (XPS):

Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE-ETICS) con una resistencia térmica de 0,88 m²K/W, suministrado e instalado conforme a su correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE), compuesto por: Aislamiento térmico a base de paneles rígidos de poliestireno extruido (XPS) con una conductividad térmica de 0,034 W/mK, un espesor de 30mm, una reacción al fuego Euroclase E, con marcado CE y según la UNE-EN 13164, fijados al soporte mediante mortero de cemento con resinas y aditivos y espigas de anclaje mecánico dispuestas en el perímetro, esquinas y centro de los paneles.

- Lana mineral (MW):

Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE-ETICS) con una resistencia térmica de 1,11 m²K/W, suministrado e instalado conforme a su correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE), compuesto por: Aislamiento térmico a base de paneles rígidos de lana mineral (MW) con una conductividad térmica de 0,036 W/mK, un espesor de 40mm, una reacción al fuego Euroclase A1, con marcado CE y según la UNE-EN 13142 y UNE-EN 13500, fijados al soporte mediante mortero de cemento con resinas y aditivos y espigas de anclaje mecánico dispuestas en el perímetro, esquinas y centro de los paneles.

- Vidrio celular (CG):

Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE-ETICS) con una resistencia térmica de 0,98 m²K/W, suministrado e instalado conforme a su correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE), compuesto por: Aislamiento térmico a base de paneles rígidos de vidrio celular (CG) con una conductividad térmica de 0,041 W/mK, un espesor de 40mm, una reacción al fuego Euroclase A1, con marcado CE y según la UNE-EN 13167, fijados al soporte mediante mortero de cemento con resinas y aditivos y espigas de anclaje mecánico dispuestas en el perímetro, esquinas y centro de los paneles.

- Mortero termoaislante:

Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE-ETICS) con una resistencia térmica de 0,4 m²K/W, suministrado e instalado conforme a su correspondiente Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE), compuesto por: Aislamiento térmico a base de mortero termoaislante con una conductividad térmica de 0,050 W/mK, un espesor de 20mm, una reacción al fuego Euroclase A2, con marcado CE y según la UNE-EN 998-1, proyectado mecánicamente.

⁷ DITE 13/0836. Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior con revoco para su uso como aislamiento térmico por el exterior de muros. Se ha de mencionar que este Documento de Idoneidad quedó derogado el 1 de julio de 2013. El nuevo reglamento es el Reglamento (UE) 305/2011, donde el DITE queda sustituido por el Evaluación Técnica Europea (ETE). Sin embargo, los DITE emitidos antes del 1 de julio de 2013 son válidos durante su período de validez, de acuerdo con el Art. 66 (4) del Reglamento.

Todos los aislantes incluyen la parte proporcional de la perfilaría de arranque, cantoneras, formación de juntas, jambas y dinteles, remates y accesorios necesarios para la completa instalación del sistema conforme al DITE.

Además, están compuestos por una capa de acabado impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua, formada por un revoco mineral de 1 mm de espesor acabado liso realizado con mortero de mixto de cal, áridos de granulometría compensada, pigmentos y resinas hidrófugas con marcado CE según EN-UNE-998-1.



Figura 36. Instalación aislamiento en fachada por el exterior

En las siguientes tablas se recogen los distintos tipos de aislamiento introducidos directamente al programa, así como su ahorro energético y rentabilidad:

Tipo de aislamiento	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
EPS-3-0,031	49,60	19,60	28,30	18.998,49
XPS-3-0,034	49,80	19,40	28,10	18.864,22
MW-4-0,036	49,40	19,80	28,60	19.199,89
MT-20-0,050	50,70	18,50	26,80	17.991,50
CG-40-0,041	49,60	19,60	28,30	18.998,49

Tabla 18. Resultados en calefacción soluciones propuestas en fachada

Tipo de aislamiento	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
EPS-3-0,031	38,90	-3,70	-10,50	-8.848,57
XPS-3-0,034	38,90	-3,70	-10,40	-8.764,29
MW-4-0,036	38,90	-3,70	-10,50	-8.848,57
MT-20-0,050	38,80	-3,60	-10,20	-8.595,75
CG-40-0,041	38,90	-3,70	-10,50	-8.848,57

Tabla 19. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en fachada

Tipo de aislamiento	Coste (€/m ²)	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
Caso base	-	-	-	-
EPS-3-0,031	53,11	85.099,32	10.149,92	0,119
XPS-3-0,034	47,51	76.126,32	10.099,93	0,133
MW-4-0,036	55,14	88.352,04	10.351,32	0,117
MT-20-0,050	44,29	70.966,84	9.395,75	0,132
CG-40-0,041	60,92	97.613,46	10.149,92	0,104
Límite rentabilidad: 0,8-0,133=0,106				
Solución más rentable: XPS-3-0,034				
Solución de mayor ahorro: MW-4-0,036				

Tabla 20. Análisis económico soluciones propuestas en fachada

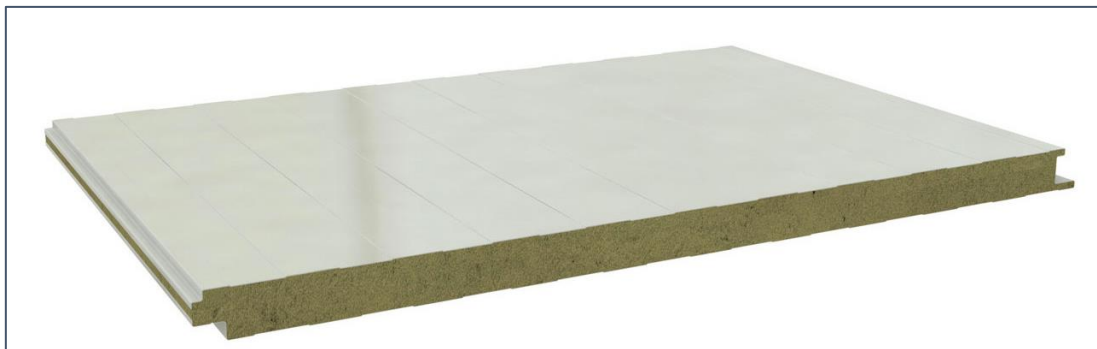


Figura 37. Panel de lana mineral (MW)

Como se puede observar, la adición de este aislamiento por el exterior conlleva un gran ahorro en la demanda de calefacción, pero al igual que sucedía en la cubierta, supone un incremento en la demanda de refrigeración. En cualquier caso, el ahorro en calefacción supera al incremento en refrigeración considerablemente, por lo que resulta satisfactoria la inclusión de un aislamiento térmico por el exterior de la fachada.

Las soluciones obtenidas tanto de mayor rentabilidad como de mayor ahorro son las siguientes:

- Solución más rentable: Poliestireno extruido (XPS). Espesor (e) = 30mm. Conductividad térmica $\lambda = 0,034$ (W/mK).
- Solución con más ahorro: Lana mineral (MW). Espesor (e) = 40mm. Conductividad térmica $\lambda = 0,036$ (W/mK).

El valor de la transmitancia térmica límite en muros establecido por el DB HE1, es de $U=0,75$ (W/m²K) en nuestra zona climática. Este requisito ya quedaba cumplido con el muro del escenario de partida, que, al contar con aislamiento interior, tiene un valor de $U=0,59$ (W/m²K).

Este valor de la transmitancia, disminuye aún en mayor medida con las soluciones de aislamiento por el exterior de la fachada, hasta un valor de $U=0,39$ (W/m²K) para la solución más rentable, y un valor de $U=0,36$ (W/m²K), para la solución de mayor ahorro.

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Figura 38. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente

8.3.1.3. Suelo

El suelo del edificio no dispone de aislamiento térmico, y su transmitancia térmica ha sido calculada por defecto por el programa. Para su colocación se fijará una capa de aislamiento térmico al suelo existente y se añadirá una nueva capa de suelo.

Las diferentes soluciones de aislamiento térmico que han sido propuestas para la mejora de la eficiencia energética del edificio son las siguientes:

- Lana mineral (MW):

Aislamiento termoacústico en suelos bajo pavimento, reacción al fuego Euroclase A2-s1, d0, cubierto por un film plástico de polietileno, incluso limpieza del soporte y corte.

- Poliestireno extruido (XPS):

Aislamiento termoacústico en suelos bajo pavimento de uso doméstico, con poliestireno extruido (XPS), reacción al fuego Euroclase E, cubierto por un film plástico de polietileno, incluso limpieza del soporte y corte.

- Poliestireno expandido (EPS):

Aislamiento termoacústico de suelos bajo pavimento, con poliestireno expandido (EPS), reacción al fuego Euroclase E, cubierto por un film plástico de polietileno, incluso limpieza del soporte y corte.

- Vidrio celular (CG):

Aislamiento termoacústico de suelos bajo pavimento, con panel de vidrio celular (CG) de dimensiones 45x30cm y reacción al fuego Euroclase A1, cubierto por un film plástico de polietileno, incluso limpieza del soporte y corte.

- Panel fibra madera (WF):

Aislamiento termoacústico en suelos bajo pavimento o suelos con entramado de madera, con panel aislante de fibra de madera (WF), clase de reacción al fuego E según RD. 312/2005, cubierto por un film plástico de polietileno, incluso limpieza del soporte y corte.

- Espuma de poliuretano proyectada (PUR proyectado):

Aislamiento térmico de suelo realizado mediante la proyección sobre el forjado de espuma de poliuretano de celda cerrada con una densidad de aplicación de entre 45 y 60 kg/m³ y una reacción al fuego Euroclase E, conforme a UNE 92120-1:1998.

En la siguiente tabla se recogen los distintos tipos de aislamiento en suelo introducidos directamente al programa, así como su ahorro energético y rentabilidad:

Tipo de aislamiento	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
MW-1,5-0,032	56,80	12,40	17,92	12.029,52
MW-2-0,032	56,50	12,70	18,35	12.320,56
MW-2,5-0,032	56,30	12,90	18,64	12.514,58
XPS-3-0,030	56,10	13,10	18,93	12.708,60
XPS-4-0,030	55,90	13,30	19,22	12.902,63
XPS-3-0,034	56,30	12,90	18,64	12.514,58
XPS-4-0,034	55,90	13,30	19,22	12.902,63
EPS-3-0,033	56,30	12,90	18,64	12.514,58
EPS-4-0,033	55,90	13,30	19,22	12.902,63
EPS-5-0,033	55,70	13,50	19,51	13.096,65
EPS-3-0,036	56,30	12,90	18,64	12.514,58
EPS-4-0,036	56,10	13,10	18,93	12.708,60
EPS-5-0,036	56,00	13,20	19,08	12.805,62
CG-2-0,048	56,90	12,30	17,77	11.932,51
CG-3-0,048	56,50	12,70	18,35	12.320,56
CG-4-0,048	55,90	13,30	19,22	12.902,63
WF-2-0,040	56,70	12,50	18,06	12.126,53
WF-3-0,040	56,40	12,80	18,50	12.417,57
WF-4-0,040	56,10	13,10	18,93	12.708,60
PUR proy-6-0,028	56,10	13,10	18,93	12.708,60
PUR proy-4-0,028	55,50	13,70	19,80	13.290,68
PUR proy-6-0,032	56,10	13,10	18,93	12.708,60
PUR proy-6-0,032	55,70	13,50	19,51	13.096,65

Tabla 21. Resultados en calefacción soluciones propuestas en suelo

Tipo de aislamiento	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
MW-1,5-0,032	37,60	-2,40	-6,82	-5.745,82
MW-2-0,032	37,60	-2,40	-6,82	-5.745,82
MW-2,5-0,032	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
XPS-3-0,030	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
XPS-4-0,030	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64
XPS-3-0,034	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
XPS-4-0,034	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64
EPS-3-0,033	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
EPS-4-0,033	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64
EPS-5-0,033	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64
EPS-3-0,036	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
EPS-4-0,036	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
EPS-5-0,036	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
CG-2-0,048	37,50	-2,30	-6,53	-5.506,41
CG-3-0,048	37,60	-2,40	-6,82	-5.745,82
CG-4-0,048	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64
WF-2-0,040	37,60	-2,40	-6,82	-5.745,82
WF-3-0,040	37,60	-2,40	-6,82	-5.745,82

WF-4-0,040	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
PUR proy-6-0,028	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
PUR proy-4-0,028	37,90	-2,70	-7,67	-6.464,05
PUR proy-6-0,032	37,70	-2,50	-7,10	-5.985,23
PUR proy-6-0,032	37,80	-2,60	-7,39	-6.224,64

Tabla 22. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en suelo

Tipo de aislamiento	Coste (€/m ²)	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
MW-1,5-0,032	5,58	8.011,65	6.283,70	0,784
MW-2-0,032	6,26	8.987,98	6.574,73	0,732
MW-2,5-0,032	6,96	9.993,03	6.529,35	0,653
XPS-3-0,030	10,41	14.946,47	6.723,37	0,450
XPS-4-0,030	13,42	19.268,17	6.677,99	0,347
XPS-3-0,034	11,84	16.999,64	6.529,35	0,384
XPS-4-0,034	15,33	22.010,51	6.677,99	0,303
EPS-3-0,033	9,44	13.553,76	6.529,35	0,482
EPS-4-0,033	12,15	17.444,73	6.677,99	0,383
EPS-5-0,033	14,86	21.335,69	6.872,01	0,322
EPS-3-0,036	6,33	9.088,49	6.529,35	0,718
EPS-4-0,036	7,99	11.471,88	6.723,37	0,586
EPS-5-0,036	9,66	13.869,63	6.820,38	0,492
CG-2-0,048	15,24	21.881,29	6.426,09	0,294
CG-3-0,048	23,38	33.568,54	6.574,73	0,196
CG-4-0,048	29,13	41.824,27	6.677,99	0,160
WF-2-0,040	6,83	9.806,38	6.380,71	0,651
WF-3-0,040	10,18	14.616,24	6.671,74	0,456
WF-4-0,040	12,52	17.975,97	6.723,37	0,374
PUR proy-6-0,028	13,05	18749,98	6.723,37	0,359
PUR proy-4-0,028	17,16	24672,30	6.826,63	0,277
PUR proy-6-0,032	12,72	18301,28	6.723,37	0,367
PUR proy-6-0,032	16,60	23900,35	6.872,01	0,288

Límite rentabilidad: 0,8-0,784=0,627

Solución más rentable: MW-1,5-0,032

Solución de mayor ahorro: MW-2-0,032

Tabla 23. Análisis económico soluciones propuestas en suelo

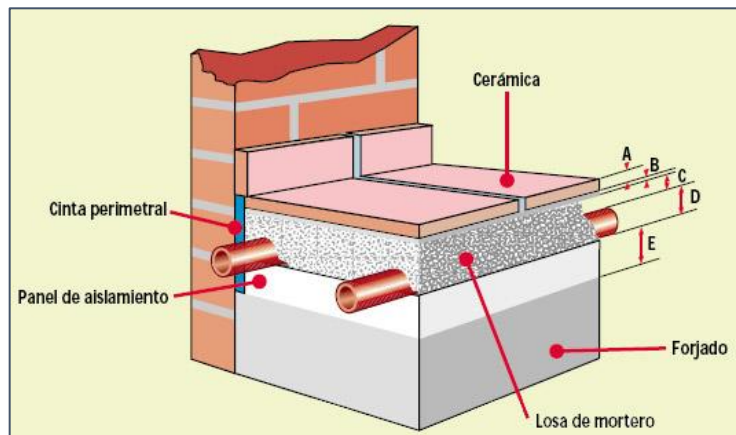


Figura 39. Esquema disposición del aislante sobre el suelo



Figura 40. Ejemplo disposición del aislante sobre el suelo

Como se observa, al aplicar la solución de aislamiento en suelo se ha obtenido un elevado parámetro de rentabilidad kWh/€, debido a su escaso coste y el elevado ahorro en la demanda de calefacción que se produce. Como sucede para los aislamientos en fachada y cubierta, existe un incremento en la demanda de refrigeración, aunque vuelve a ser de menor magnitud que el ahorro que se produce en calefacción.

Las soluciones obtenidas, tanto de mayor rentabilidad como de mayor ahorro, son las siguientes:

- Solución más rentable: Lana mineral (MW). Espesor (e) = 15mm. Conductividad térmica $\lambda = 0.032$ (W/mK).
- Solución con más ahorro: Lana mineral (MW). Espesor (e) = 20mm. Conductividad térmica $\lambda = 0.032$ (W/mK).

El valor de la transmitancia límite de suelos establecido por el DB HE en nuestra zona climática C3, tiene un valor límite de transmitancia térmica de $U=0,75$ (W/m²K). Para la solución más rentable, se obtiene un valor de $U=0,34$ (W/m²K), y, para la solución con más ahorro, de un $U=0,33$ (W/m²K), por lo que se cumple con la restricción, y se ha disminuido considerablemente la transmitancia del suelo seleccionada por el programa por defecto, de $U=1,00$ (W/m²K).

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Figura 41. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente

8.3.2. Mejora en los huecos

Una vez que se han propuesto las mejoras en el aislamiento de los cerramientos opacos, se han de estudiar las posibles soluciones en los huecos.

Los huecos del edificio están constituidos por cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente del edificio. Comprende las ventanas, lucernarios y claraboyas, así como las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%.

Los huecos constituyen una parte térmicamente débil de la envolvente: en invierno se pierde calor generado por los equipos de calefacción del edificio, y en verano las ganancias solares hacen que la demanda de refrigeración del edificio aumente.

Además, dada la gran existencia de huecos en nuestro edificio, la importancia de su sustitución será notable.

La carpintería del edificio de estudio cuenta actualmente con un marco metálico sin rotura de puente térmico (RPT) y vidrio doble. Las propiedades térmicas de los huecos han sido estimadas por el programa a partir de la introducción de estas dos características generales y se muestran en la Tabla 24:

U vidrio (W/m²K)	3,3
g vidrio	0,75
U marco (W/m²K)	5,7
Color marco	Blanco
% marco	15-20

Tabla 24. Propiedades carpintería en el escenario inicial del edificio.

Siendo U la transmitancia térmica y g el factor solar, que se define como cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco.⁸

Para la mejora de la eficiencia energética del edificio a partir de la mejora de los huecos, se propondrán soluciones tanto para el cambio de tipo de vidrio como para el cambio de tipo de marco.

La metodología llevada a cabo para el presupuesto de los distintos tipos de marco y vidrio a proponer ha sido la misma que para los apartados anteriores: han sido obtenidos de la base de precios del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE).

Dada la imposibilidad de seleccionar todas las soluciones constructivas de los huecos con las soluciones proporcionadas directamente por la base de datos, ha sido necesario estimar el presupuesto total. A partir de los precios reales de los acristalamientos dispuestos, se ha calculado un valor medio del marco para recibir acristalamiento, y a este, se ha sumado el precio del acristalamiento necesario.

Las propiedades térmicas de los marcos se han extraído de la librería existente en el programa de referencia.

⁸ DB HE1.

Las propiedades térmicas de los vidrios se han obtenido de la misma librería. Las propiedades son iguales que las encontradas en la base de datos del IVE, aunque más precisas, ya que esta última propone un pequeño intervalo para algunas de sus características. Algunas soluciones no se encontraban presentes en la librería de vidrios del software, por lo que las propiedades térmicas, obtenidas de la base de datos, han sido introducidas manualmente.

Los dos tipos de marco que se han propuesto como solución son los siguientes:

	U (W/m ² K)	Absortividad
Aluminio con RPT mayor de 12mm	3,2	0,7
PVC tres cámaras	1,8	0,7

Tabla 25. Propiedades marcos de las soluciones de carpintería a implementar.

La absorptividad se define como la fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma. La absorptividad oscila entre 0,0 (0%) y 1,0 (100%).

Antes de continuar es necesario describir alguna de las características específicas de ellos:

- Marco PVC de tres cámaras:

Las cámaras en los perfiles de PVC hacen referencia a los huecos de aire separados que existen en el interior de los perfiles del marco. Cuanto mayor es el número de cámaras de aire, mayor es el salto de temperatura entre el exterior y el interior del perfil.

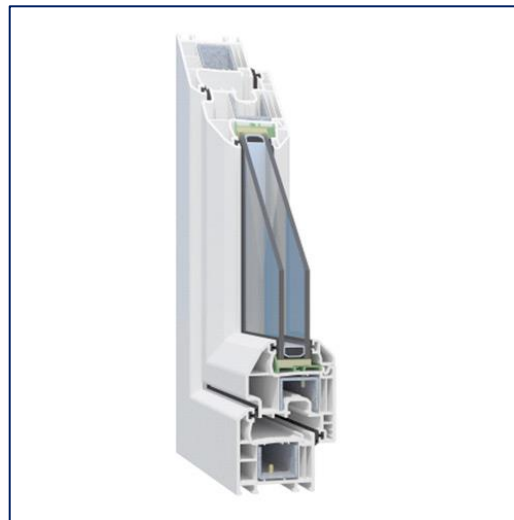


Figura 42. Tipo de marco PVC de tres cámaras

- Marco de aluminio con rotura de puente térmico mayor que 12 mm:

Los tipos de marco de aluminio con rotura de puente térmico confieren al marco unas propiedades térmicas de mayor aislamiento que los marcos de aluminio convencionales. Dicha rotura consiste en evitar que la cara interior y exterior del marco estén en contacto intercalando un aislante. Una solución muy presente es utilizar un perfil de plástico embutido en el perfil de aluminio.

Este sistema permite mejorar las propiedades térmicas del marco de aluminio considerablemente.

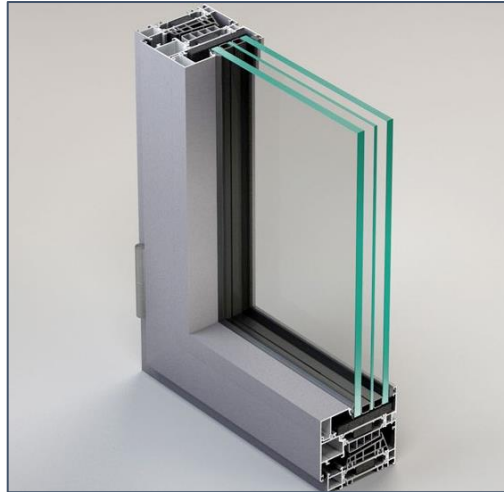


Figura 43. Tipo de marco Aluminio con RPT

Previamente a la enumeración y descripción de los diferentes tipos de vidrio que van a ser propuestos, es conveniente definir algunas propiedades de los vidrios que se incluirán:

- Vidrios de baja emisividad:

Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de nanómetros proporcionando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Normalmente estos vidrios deben ir ensamblados en UVA (doble acristalamiento) ofreciendo así sus máximas prestaciones de aislamiento térmico.

La incorporación de vidrios de baja emisividad permite desde un primer momento alcanzar niveles de aislamiento imposibles por aumento de cámara.

La emisividad se define como la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura. Cuanto menor sea este valor, menor será la cantidad de energía que el vidrio emita.

La baja emisividad del vidrio impide que el calor generado en el interior del edificio, escape sin perder luminosidad, puesto que produce una alta reflectancia del calor (energía de onda larga), pero no de la luz solar (energía de onda corta). Esto es un problema en edificios donde la carga interna es muy elevada, ya que puede dar lugar a un sobrecalentamiento del edificio a un efecto invernadero nada deseable.



Figura 44. Esquema funcionamiento vidrio de baja emisividad

- Vidrios de control solar:

Bajo la denominación de vidrios de control solar se agrupan vidrios de muy distinta naturaleza: vidrios de color, serigrafiados o de capa, si bien es a estos últimos los que normalmente se denominan vidrios de control solar.

El vidrio de control solar es incoloro, y deja pasar el máximo de luz solar. Esto no sucede en los vidrios tintados o teñidos, que tienen el inconveniente de que, aunque sirven para controlar la transmisión de calor solar, reducen la transmitancia luminosa.

Las distintas capas y la posibilidad de aplicarse en distintos sustratos vítreos permiten una amplia gama de posibilidades con diferentes estéticas y cuyas prestaciones en térmicas de control solar pueden variar desde valores de 0,10 para los más reflectantes hasta valores de 0,60 para los vidrios incoloros de aspecto neutro.

Los vidrios de control solar reducen de manera muy destacable el gasto energético por refrigeración del edificio.

Aunque normalmente los vidrios de control solar se instalan en UVA para obtener una buena transmitancia térmica, en muchos casos pueden ser utilizados como vidrios monolíticos cuando la prioridad es la protección térmica frente a la radiación solar directa.

Los vidrios de baja emisividad y control solar pueden combinarse, consiguiendo así de manera conjunta las ventajas de la mejora en la retención del calor en el interior y de la mejora en la reflexión solar. Esto nos hará mejorar en la eficiencia energética del edificio en invierno (vidrios de baja emisividad) y verano (vidrios de control solar).

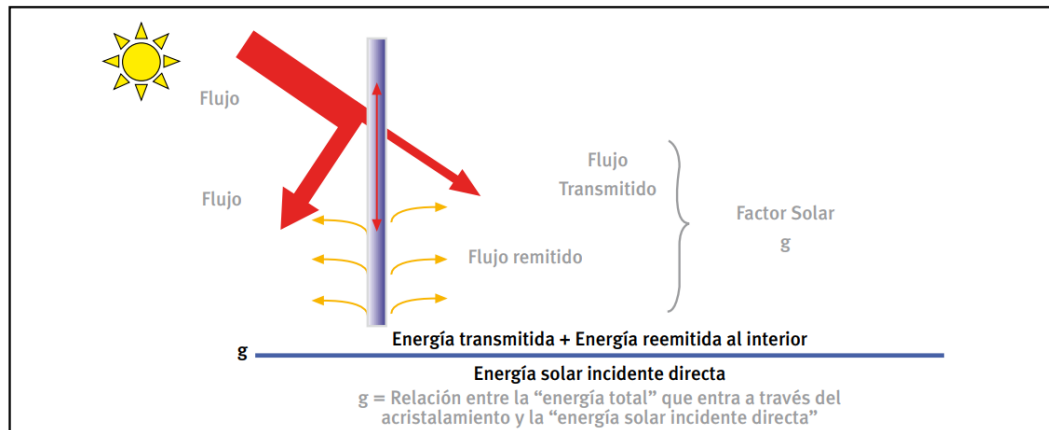


Figura 45. Esquema funcionamiento vidrio control solar

Los tipos de vidrio que se propondrán como medida y que irán acompañado de uno de los marcos anteriores son los siguientes:

- Incoloro 4-12-4:

Doble acristalamiento aislante térmico formado por dos vidrios simples monolíticos incoloros de 4mm y 4mm, con una cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente, con factor solar $g=0,70-0,75$ y transmitancia térmica $U=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Control solar 6-12-6 incoloro:

Doble acristalamiento de control solar formado por un vidrio simple de 6mm de espesor con capa pirolítica, incoloro reflectante, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor, con una transmisión luminosa del 42%, transmitancia térmica $U=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g= 0,49$, según UNE-EN 410:1998.

- Control solar 6-12-6 bronce:

Doble acristalamiento de control solar formado por un vidrio simple templado de 6mm de espesor con capa pirolítica, bronce reflectante, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor, con una transmisión luminosa del 16%, transmitancia térmica $U=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g= 0,30$, según UNE-EN 410:1998.

- Control solar 6-12-6 gris:

Doble acristalamiento de control solar formado por un vidrio simple templado de 6mm de espesor con capa pirolítica, gris reflectante, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor, con una transmisión luminosa del 13%, transmitancia térmica $U=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g= 0,28$, según UNE-EN 410:1998.

- Control solar 6-12-6 verde:

Doble acristalamiento de control solar formado por un vidrio simple templado de 6mm de espesor con capa pirolítica, verde reflectante, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor, con una transmisión luminosa del 15%, transmitancia térmica $U=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g= 0,18$, según UNE-EN 410:1998.

- Bajo emisivo 4-12-4. Emisividad (0,03-0,1):

Doble acristalamiento formado por un vidrio de baja emisividad (0,03-0,1) de 4mm de espesor, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 4mm de espesor, con factor solar $g=0,63$ y transmitancia térmica $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Bajo emisivo 4-12-4. Emisividad (<0,03):

Doble acristalamiento formado por un vidrio de baja emisividad (<0,03) de 4mm de espesor, cámara de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y un vidrio monolítico incoloro de 4mm de espesor, con factor solar $g=0,63$ y transmitancia térmica $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Bajo emisivo + control solar 6-12-6 (1):

Doble acristalamiento para control solar térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 49%, transmitancia térmica $U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g=0,38$.

- Bajo emisivo + control solar 6-12-6 (2):

Doble acristalamiento para control solar térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 60%, transmitancia térmica $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g=0,32$, según UNE-EN 410:1998.

- Bajo emisivo + control solar 6-12-6 (3):

Doble acristalamiento para control solar térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 61%, transmitancia térmica $U=1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g=0,44$, según UNE-EN 410:1998.

- Bajo emisivo + control solar 6-12-6 (4):

Doble acristalamiento para control solar térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 66%, transmitancia térmica $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y factor solar $g=0,41$, según UNE-EN 410:1998.

Todos los vidrios enumerados son fijados sobre carpintería con acuñado mediante calzos de apoyo perimetrales y laterales incluso sellado en frío con silicona y colocación de junquillos.

En esta enumeración los vidrios de color como vidrios de control solar, si bien, es necesario mencionar que este tipo de vidrio tienen un factor solar reducido, pero su transmitancia luminosa se reduce también de manera notable, por lo que no son tan beneficiosos como los vidrios de control solar de capa.

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades térmicas de los vidrios:

	U (W/m ² K)	Factor solar (g)
Incoloro 4-12-4	2,8	0,72
Control solar 6-12-6 incoloro	2,8	0,49
Control solar 6-12-6 bronce	2,8	0,30
Control solar 6-12-6 gris	2,8	0,28
Control solar 6-12-6verde	2,6	0,18
Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	1,8	0,63
Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	1,6	0,63
Bajo emisivo + ctrl solar 1	1,8	0,38
Bajo emisivo + ctrl solar 2	1,6	0,32
Bajo emisivo + ctrl solar 3	1,8	0,44
Bajo emisivo + ctrl solar 4	1,6	0,41

Tabla 26. Resumen de propiedades vidrios a implementar como soluciones.

A continuación, se presentan los ahorros obtenidos por el programa al introducir directamente las soluciones propuestas, tanto para el tipo de marco PVC como para el marco de aluminio con RPT:

Solución	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
PVC	62,10	7,10	10,20	6.847,51
PVC-Incoloro 4-12-4	58,40	10,80	15,60	10.472,67
PVC-Control solar 6-12-6 incoloro	65,60	3,60	5,20	3.490,89
PVC-Control solar 6-12-6 bronce	72,50	-3,30	-4,70	-3.155,23
PVC-Control solar 6-12-6 gris	73,20	-4,00	-5,80	-3.893,68
PVC-Control solar 6-12-6verde	75,50	-6,30	-9,10	-6.109,06
PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	54,80	14,40	20,80	13.963,55
PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	53,40	15,80	22,80	15.306,20
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 1	62,20	7,00	10,10	6.780,38
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 2	62,80	6,40	9,20	6.176,19
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 3	59,40	9,80	14,10	9.465,68
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 4	59,70	9,50	13,70	9.197,15
Al	63,10	6,10	8,80	5.907,66
Al-Incoloro 4-12-4	59,40	9,80	14,10	9.465,68
Al-Control solar 6-12-6 incoloro	66,60	2,60	3,80	2.551,03
Al-Control solar 6-12-6 bronce	73,30	-4,10	-5,90	-3.960,82
Al-Control solar 6-12-6 gris	74,00	-4,80	-7,00	-4.699,27
Al-Control solar 6-12-6verde	76,20	-7,00	-10,10	-6.780,38
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	56,00	13,20	19,10	12.822,30
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	54,60	14,60	21,10	14.164,95
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 1	63,10	6,10	8,80	5.907,66
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 2	63,70	5,50	7,90	5.303,47
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 3	60,30	8,90	12,90	8.660,09
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 4	60,60	8,60	12,40	8.324,43

Tabla 27. Resultados en calefacción soluciones propuestas en huecos

Solución	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
PVC	36,40	-1,20	-3,50	-2.949,52
PVC-Incoloro 4-12-4	37,60	-2,40	-6,80	-5.730,50
PVC-Control solar 6-12-6 incoloro	29,80	5,40	15,20	12.809,35
PVC-Control solar 6-12-6 bronce	25,20	10,00	28,50	24.017,54
PVC-Control solar 6-12-6 gris	24,80	10,40	29,60	24.944,53
PVC-Control solar 6-12-6verde	23,00	12,20	34,80	29.326,68

PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	34,60	0,60	1,70	1.432,63
PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	34,80	0,40	1,00	842,72
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 1	27,80	7,40	20,90	17.612,86
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 2	26,30	8,90	25,20	21.236,56
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 3	29,60	5,60	16,00	13.483,53
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 4	28,80	6,40	18,10	15.253,24
Al	38,30	-3,10	-8,90	-7.500,21
Al-Incoloro 4-12-4	39,60	-4,40	-12,50	-10.534,01
Al-Control solar 6-12-6 incoloro	31,40	3,80	10,80	9.101,38
Al-Control solar 6-12-6 bronce	26,80	8,40	23,90	20.141,02
Al-Control solar 6-12-6 gris	26,30	8,90	25,30	21.320,83
Al-Control solar 6-12-6verde	24,30	10,90	31,10	26.208,61
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	36,70	-1,50	-4,30	-3.623,70
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	37,00	-1,80	-5,10	-4.297,88
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 1	29,60	5,60	15,90	13.399,26
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 2	28,20	7,00	19,90	16.770,14
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 3	31,30	3,90	11,10	9.354,20
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 4	30,60	4,60	13,10	11.039,64

Tabla 28. Resultados en refrigeración soluciones propuestas en huecos

Tipo de aislamiento	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
PVC	69.731,84	3.897,99	0,056
PVC-Incoloro 4-12-4	96.429,42	4.742,17	0,049
PVC-Control solar 6-12-6 incoloro	129.343,46	16.300,24	0,126
PVC-Control solar 6-12-6 bronce	134.366,41	20.862,31	0,155
PVC-Control solar 6-12-6 gris	126.339,83	21.050,85	0,167
PVC-Control solar 6-12-6verde	136.900,22	23.217,62	0,170
PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	104.809,51	15.396,18	0,147
PVC-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	110.030,32	16.148,92	0,147
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 1	120.905,93	24.393,24	0,202
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 2	139.453,18	27.412,75	0,197
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 3	120.905,93	22.949,21	0,190
PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 4	139.453,18	24.450,39	0,175
Al	64.934,38	-1.592,56	-0,025
Al-Incoloro 4-12-4	89.471,12	-1.068,33	-0,012
Al-Control solar 6-12-6 incoloro	121.443,32	11.652,42	0,096
Al-Control solar 6-12-6 bronce	126.322,54	16.180,21	0,128
Al-Control solar 6-12-6 gris	126.322,54	16.621,56	0,132
Al-Control solar 6-12-6verde	128.783,85	19.428,23	0,151
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- 0,03-0,1	100.012,05	9.198,60	0,092
Al-Bajo emisivo 4-12-4 -- <0,03	105.232,85	9.867,08	0,094
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 1	116.108,46	19.306,92	0,166
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 2	134.636,57	22.073,61	0,164
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 3	116.108,46	18.014,29	0,155
Al-Bajo emisivo + ctrl solar 4	134.636,57	19.364,07	0,144
Límite rentabilidad: 0,8-0,202=0,161			
Solución más rentable: PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 1			
Solución de mayor ahorro: PVC-Bajo emisivo + ctrl solar 2			

Tabla 29. Análisis económico soluciones propuestas en huecos

A partir de los resultados obtenidos, se pueden obtener distintas conclusiones:

- Se observa como el marco de PVC obtiene los mejores resultados, tanto en rentabilidad como en ahorro total.
- También se puede observar cómo los vidrios que disponen de control solar dan lugar a un ahorro energético de refrigeración muy considerable, y dada la elevada demanda de refrigeración en nuestro edificio, a pesar de que este tipo de cristal no proporcione la mayor disminución en la demanda de calefacción, es totalmente beneficiosa su inclusión.

- Paralelamente, las soluciones de vidrios de baja emisividad nos proporcionan los mayores ahorros en calefacción, como era de esperar. Además, nos proporciona una ligera disminución en la demanda de refrigeración. Esto se debe a que en nuestro edificio la mayor carga viene dada por la radiación solar y el cristal de baja emisividad ayuda a reducir esta carga. Esto no sucedería así si la carga interna fuera mayor, ya que el vidrio bajo emisivo tendría efectos perjudiciales a la hora de acumular calor en el interior del edificio.
- La combinación de vidrios de baja emisividad y control solar es la opción que nos proporciona las soluciones más rentables y de más ahorro, ya que nos proporciona buenos porcentajes de disminución de demanda tanto para calefacción como refrigeración.

Las soluciones obtenidas, tanto de mayor rentabilidad como de mayor ahorro, son las siguientes:

- **Solución más rentable:** Marco PVC tres cámaras + Doble acristalamiento para control solar y de baja emisividad térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 49%.
- **Solución con más ahorro:** Marco PVC tres cámaras + Doble acristalamiento para control solar térmicamente reforzado, formado por un vidrio monolítico incoloro de 6mm de espesor de baja emisividad (0,03) con capa pirolítica, cámara intermedia de aire deshidratado de 12mm con perfil separador de aluminio sellada perimetralmente y vidrio monolítico incoloro de 6mm, con una transmisión luminosa del 60%.

Respecto a los huecos, el DB HE1 establece diferentes restricciones:

En primer lugar, establece la transmitancia límite de huecos. Para la solución más rentable, la transmitancia térmica del hueco es de $U= 1,8$ (W/m^2K), y para la solución con más ahorro de $U= 1,6$ (W/m^2K), por lo que se cumple con lo establecido en la siguiente tabla del documento básico, que establece el límite en $U= 3,1$ (W/m^2K).

En segundo lugar, se establece la permeabilidad de huecos, que debe ser inferior o igual a 27 ($m^3/h\cdot m^2$). Los límites de las permeabilidades al aire se corresponden con las clasificaciones de huecos establecidas en la UNE-EN 12207: clase 1 ($\leq 50 m^3/h\cdot m^2$) y clase 2 ($\leq 27 m^3/h\cdot m^2$).

En el escenario de partida, se habían definido los huecos como estancos ($\leq 50 m^3/h\cdot m^2$), con la restricción del código técnico, nuestras soluciones para huecos serán de clase 2.

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [$W/m^2\cdot K$]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [$W/m^2\cdot K$]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [$W/m^2\cdot K$]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [$m^3/h\cdot m^2$]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Figura 46. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente

8.3.2.1. Toldos

La adición de elementos de sombreado en los edificios es una parte muy importante a tratar en la rehabilitación energética de edificios. Es una medida simple que no requiere ni una gran obra ni una gran inversión económica pero que nos proporcionará grandes reducciones en la demanda de refrigeración del edificio.

Como se ha mencionado en anteriores apartados, las medidas de adición de aislamiento térmico en cubierta, suelo y fachada por el exterior tienen un efecto favorable en la demanda de calefacción, que se reduce considerablemente, pero un efecto negativo en la demanda de refrigeración, que aumenta con la adición de estos aislamientos. Se ha procedido de igual forma que en los apartados anteriores, obteniendo el presupuesto igualmente de la base de datos desarrollada por el IVE.

Como se puede observar en la siguiente tabla, se han introducido en diferentes orientaciones, y se comprueba que todas las soluciones tienen un gran efecto en la reducción de la demanda de refrigeración.

Orientación	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)	Inversión (€)	PR (kWh/€)
Caso base	35,2	-	-	-	-	-
S y SO	28,90	6,30	17,90	15.084,70	24.701,76	0,61
S y SO + E	27,60	7,60	21,59	18.194,34	30.710,29	0,59
S y SO + O	28,30	6,90	19,60	16.517,33	28.707,45	0,58
S y SO + E y O	27,10	8,10	23,01	19.391,00	34.715,98	0,56
Límite rentabilidad: 0,8-0,61=0,48						
Solución más rentable: Toldos orientaciones S y SO						
Solución de mayor ahorro: Toldos orientaciones S y SO + E y O						

Tabla 30. Ahorro producido por la implementación de toldos como solución

La mayor parte del ahorro se produce al introducir los toldos en la orientación sur y suroeste, pues es donde incide una mayor radiación solar a lo largo del día, y, además, donde se encuentra el mayor porcentaje de huecos sobre fachada.

La solución más rentable será la colocación de toldos en las direcciones sur y suroeste, y la de mayor ahorro la colocación en las orientaciones, sur, suroeste, este y oeste.



Figura 47. Ejemplo utilización de toldos en huecos

8.3.3. Selección de las mejoras más ventajosas en la envolvente

Antes de analizar en conjunto las medidas seleccionadas se ha de recordar que en los apartados anteriores del trabajo el problema se ha estudiado de forma desacoplada. Las diferentes medidas se han implementado en CE3X individualmente para conocer el efecto que cada una de ellas produce en el edificio.

Una vez implementadas se han seleccionado las soluciones más rentables y de mayor ahorro para los distintos cerramientos opacos del edificio, así como para los huecos presentes en él.

	Edificio más rentable	Edificio de mayor ahorro	PR
Cubierta	Poliestireno extruido XPS e=40mm, $\lambda=0,029$ W/mK	Poliestireno extruido XPS e=60mm, $\lambda=0,029$ W/mK	0,304 / 0,272
Huecos	PVC ctrol solar + bajo emisivo (1) g=0,38, U=1,8 (W/m ² K)	PVC ctrol solar + bajo emisivo (2) g=0,32, U= 1,6 (W/m ² K)	0,202 / ,0197
Suelo	Lana mineral MW e=15mm, $\lambda=0,032$ W/mK	Lana mineral MW e=20mm, $\lambda=0,032$ W/mK	0,784 / 0,732
Fachada	Poliestireno extruido XPS e=30mm, $\lambda=0,034$ W/mK	Lana mineral MW e=40mm, $\lambda=0,036$ W/mK	0,133 / 0,117
Toldos	Orientaciones S y SO	Orientaciones S, SO, E y O	0,61 / 0,56

Tabla 31. Resumen de las medidas a implementar seleccionadas

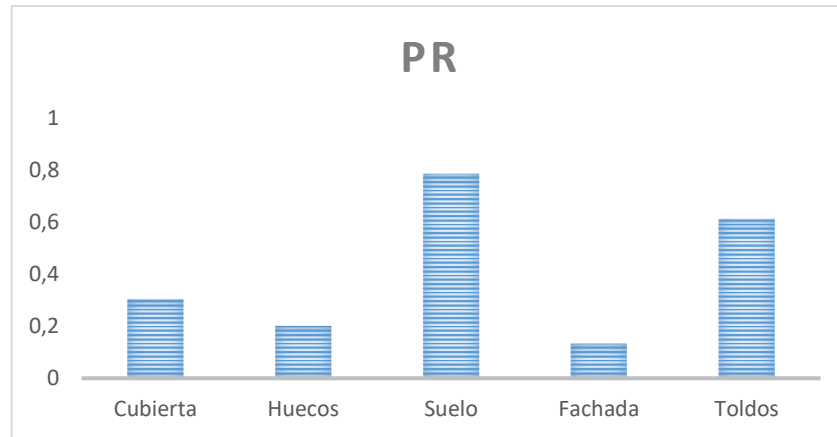


Figura 48. Comparativa del parámetro de Rentabilidad de los elementos de la envolvente

Se observa como en general los parámetros de rentabilidad son menores que en el cambio de la iluminación a LED. El menor de todos lo presente el aislamiento en la fachada por el exterior, por lo que también se estudiará la incorporación de todas las soluciones salvo esta y su efecto en el edificio.

A partir de la selección que se ha realizado, se indican a continuación los ahorros del edificio completo con las soluciones más rentables y de mayor ahorro:

	Demanda calefacción (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
Edificio más rentable	18,70	50,50	72,98	48.991,18
Edificio de mayor ahorro	17,30	51,90	75,00	50.349,35

Tabla 32. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente

	Demanda refrigeración (kWh/m ²)	Variación demanda (kWh/m ²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
Edificio más rentable	28,50	6,70	19,03	16.036,97
Edificio de mayor ahorro	26,40	8,80	25,00	21.068,02

Tabla 33. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente

	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
Caso base	-	-	-
Edificio más rentable	242.524,70	65.028,16	0,268
Edificio de mayor ahorro	288.345,75	71.417,37	0,248

Tabla 34. Análisis económico soluciones seleccionadas envolvente

Los ahorros que han producido el conjunto de las mejoras de la envolvente del edificio son mayores que los de cada una de ellas por separado. Esto sucede por la incorporación del aislamiento por el exterior en la fachada, que al variar los puentes térmicos del edificio consigue un efecto aún mayor en el ahorro.

Como se ha mencionado anteriormente, la medida con menor parámetro de rentabilidad de todas es la del aislamiento por el exterior de la fachada. Por ello se va a proceder del mismo modo, pero sin incluir

la medida de mejora de aislamiento por el exterior de la fachada. Se obtienen en este caso los siguientes resultados:

	Demanda calefacción (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual calefacción (kWh)
Caso base	69,20	-	-	-
Edificio más rentable	42,80	26,40	38,15	25.611,04
Edificio de mayor ahorro	42,30	26,90	38,87	26.094,39

Tabla 35. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada

	Demanda refrigeración (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)	Ahorro anual refrigeración (kWh)
Caso base	35,20	-	-	-
Edificio más rentable	25,50	9,70	27,48	23.157,96
Edificio de mayor ahorro	23,60	11,60	32,95	27.767,65

Tabla 36. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada

	Inversión (€)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
Caso base	-	-	-
Edificio más rentable	166.398,38	48.769,00	0,293
Edificio de mayor ahorro	199.993,72	53.862,04	0,269

Tabla 37. Análisis económico soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento por el exterior de la fachada

Como se puede observar, si la renovación de la envolvente del edificio se produce sin la adición del aislamiento por el exterior de fachada, se obtiene un menor ahorro total en kWh, pero un mayor parámetro de rentabilidad.

Con los datos de los que se dispone en este momento no se tomará la decisión de si añadir o no aislamiento por el exterior de la fachada, se pospondrá la decisión al cálculo de los parámetros económicos VAN y TIR, que se realizarán posteriormente para el conjunto de todas las medidas a aplicar en el edificio.

A lo largo de la implementación de las soluciones en la envolvente del edificio se ha observado cómo la demanda de refrigeración aumenta con la adición de aislamiento en fachada, cubierta y suelo, así como con las soluciones de mejora en huecos que no cuenten con vidrios de baja emisividad o vidrios de control solar.

Esto sucede por el funcionamiento del programa, que permite un sobrecalentamiento que se produce en el interior del edificio durante el día debido a las ganancias internas y a la radiación solar. La temperatura del edificio se eleva hasta unas temperaturas de consigna muy elevadas (50°C) y se acumula una gran cantidad de energía en el interior del edificio, como la temperatura interior es mayor en estos casos que la exterior, la mejora del aislamiento del edificio hace que la disipación de calor sea menor y la demanda en refrigeración aumente.

Estos resultados pueden hacer pensar que quizá CE3X no es el más adecuado para la realización del análisis energético de un edificio. Sin embargo, se trata del programa de referencia y con el que se justifican diferentes actuaciones a partir de la calificación energética que se obtiene de su uso, por lo

que en muchas ocasiones es necesario remitirnos a él y será de ayuda conocer este tipo posibles anomalías en los resultados.

8.4. Mejora en las instalaciones térmicas

A lo largo del presente trabajo, se han propuesto diferentes soluciones para la mejora de la envolvente del edificio y se ha analizado el efecto que tiene en el edificio el cambio de iluminación a tecnología LED. A continuación, se aborda otro de los pilares fundamentales de la eficiencia energética del edificio: sus instalaciones térmicas.

El estudio de la mejora de las instalaciones térmicas constará de dos apartados: en primer lugar, se analizará el uso de energía solar y biomasa para cubrir la demanda de ACS; en segundo lugar, se analizará el efecto que tiene la sustitución de los equipos de climatización presentes en el edificio por otros de una mayor eficiencia energética.

8.4.1. Instalación de biomasa/solar para ACS

En la actualidad, la demanda de ACS es cubierta por calentadores individuales en cada habitación que trabajan por efecto Joule, un modo de producción de energía no recomendable desde el punto de vista de la eficiencia energética. Teniendo en cuenta este factor y la elevada demanda de ACS del edificio, es recomendable estudiar otras fuentes de abastecimiento más eficientes.

En el presente estudio, la solución propuesta para el abastecimiento de ACS que sustituya a los calentadores eléctricos es la puesta en marcha de una instalación solar con una caldera de biomasa como equipo de apoyo.

Como se ha mencionado con anterioridad, la cubierta del edificio está ocupada por una instalación solar fotovoltaica. Por falta de espacio para los captadores solares térmicos de la nueva instalación, parte de los módulos fotovoltaicos existentes se trasladarán al aparcamiento del edificio, ubicándolos sobre una pérgola que, además, ofrezca sombra a los vehículos allí estacionados.

La instalación ha sido diseñada utilizando el software Transol, especializado en el diseño y cálculo de instalaciones de energía solar térmica, que, a través de la entrada de datos relacionados con los captadores solares, su orientación, el sistema de acumulación, el equipo auxiliar o la zona climática del edificio, ofrece mediante un proceso de simulación dinámica el factor de aporte solar a la demanda total de ACS.

El sistema funciona de tal manera que los captadores solares que componen la instalación solar vierten energía sobre el depósito de acumulación solar, a través de un intercambiador de calor, consiguiendo calentar el agua hasta la temperatura deseada. Cuando la instalación solar no consiga elevar el agua a la temperatura deseada, el sistema auxiliar, constituido por una caldera de biomasa, realiza el aporte energético necesario.

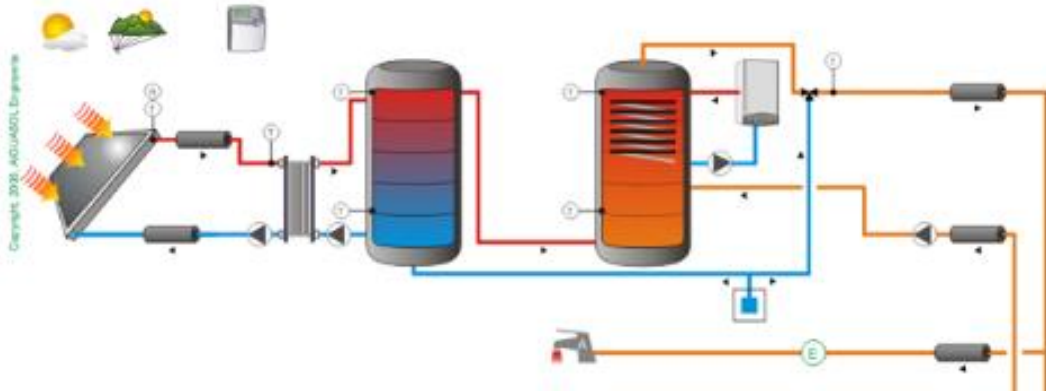


Figura 49. Esquema instalación solar y biomasa para suministro de ACS

La instalación solar propuesta está formada por 30 captadores solares de placa plana de 2,4 m² de superficie individual, completando una superficie de absorción total de 72 m². Están distribuidos en 5 filas, separadas por una distancia de 4,3 m y el acimutal del campo es de 350°, es decir, están colocados en dirección Sur menos 10°.



Figura 50. Ejemplo de colectores solares

Los captadores planos, son del modelo Euro C20 AR negro, fabricados por Wagner Solar, S.L. con una elevación sobre el suelo de 45°. Tienen una altura de 1,2 m y una capacitancia de 10,78 kJ/m²K.

La potencia de una instalación térmica se estima en 700 W por cada m² de superficie de captación, por lo que la potencia total de nuestra instalación es de 50,40 kW.

$$\text{Potencia instalación térmica} = 30 \text{ captadores} \cdot 2,4 \text{ m}^2/\text{captador} \cdot 700 \text{ W/m}^2 = 50.400 \text{ W}$$

La instalación dispone de dos depósitos de acumulación, de 1500 l de capacidad cada uno. El dimensionado del depósito de acumulación se ha realizado a partir del consumo diario de ACS, que es de un total de 3.234 litros, de forma que el abastecimiento esté asegurado para todas las horas del día.

La altura del acumulador es de 1,3 m, tiene una superficie de intercambio interno de 4,43 m, con una conductividad térmica de 0,043 W/mK. El circuito solar cuenta con un sistema de control de arranque y parada de la bomba, cuyos diferenciales son de 12°C y 5°C respectivamente.

Como se ha mencionado, la instalación solar contará con un sistema de apoyo tal y como exige el Código Técnico de la Edificación para toda instalación solar térmica. En el presente trabajo, el equipo auxiliar estará constituido por una caldera de biomasa, que utilizará como combustible pellets de madera ensacados. El poder calorífico inferior del combustible (PCI) es de 4,57⁹ kWh/kg, un precio de 0,195¹⁰€/kg y una densidad¹¹ aparente de 650 kg/m³.

8.4.1.1. . Dimensionado de la instalación de biomasa

La instalación de biomasa consta de tres componentes:

- Silo de almacenamiento.
- Caldera.
- Depósito de inercia.

A continuación, se procederá al dimensionado de cada uno de los componentes de la instalación. La información de partida se recoge en la siguiente tabla:

Rendimiento caldera (η)	0,90
PCI combustible (kWh/kg)	4,57
Densidad aparente combustible (ρ) (kg/m ³)	650,00
Coste combustible (€/kg)	0,195

Tabla 38. Resumen de especificaciones caldera biomasa

- Silo de almacenamiento:

Para comenzar, se van a establecer las dimensiones del silo donde se almacenará el combustible.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) establece con respecto al volumen del silo de almacenamiento que: *“El volumen interno del silo deberá ser igual o superior al volumen de la biomasa necesaria para abastecer el consumo energético durante un periodo mínimo de 15 días.”*¹²

Así pues, para conocer el volumen, se calculará el consumo en kWh a partir del rendimiento de la caldera, en kg utilizando el PCI del combustible, y, para terminar, se calculará a partir de la densidad el consumo en volumen para 15 días.

La información ha sido diferenciada para cada uno de los meses del año. El volumen del silo de almacenamiento corresponderá al mes que precise un volumen mayor de combustible.

La demanda energética actual se corresponde con la realizada en la estimación energética del edificio, el consumo de combustible energético se ha obtenido con el rendimiento de la caldera, el consumo en kg a partir del PCI del combustible utilizado y el consumo en volumen a partir de la densidad aparente del combustible.

⁹ Herramienta de dimensionado facilitada por IDAE.

¹⁰ Precio promedio del mercado actual.

¹¹ Guía técnica instalaciones biomasa. IDAE.

¹² Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. 2013

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{\eta \text{ caldera}}$$

$$\text{Consumo (kg)} = \frac{\text{Consumo (kWh)}}{\text{PCI combustible (kWh/kg)}}$$

$$\text{Consumo (m}^3\text{)} = \frac{\text{Consumo (kg)}}{\rho \text{ aparente (kg/m}^3\text{)}}$$

La siguiente tabla representa los valores obtenidos:

	Demanda (kWh)	Consumo (kWh)	consumo (kg)	Días	consumo diario (kg)	consumo kg 15 días	consumo m ³ 15 días
Enero	5.925,07	6.583,41	1.440,57	31	46,47	697,05	1,07
Febrero	5.351,67	5.946,30	1.301,16	28	46,47	697,05	1,07
Marzo	5.808,66	6.454,07	1.412,27	31	45,56	683,36	1,05
Abril	5.401,62	6.001,79	1.313,30	30	43,78	656,65	1,01
Mayo	5.348,86	5.943,17	1.300,48	31	41,95	629,26	0,97
Junio	4.951,01	5.501,12	1.203,75	30	40,12	601,87	0,93
Julio	4.883,23	5.425,81	1.187,27	31	38,30	574,48	0,88
Agosto	4.766,83	5.296,47	1.158,97	31	37,39	560,79	0,86
Septiembre	4.838,36	5.375,96	1.176,36	30	39,21	588,18	0,90
Octubre	5.343,04	5.936,71	1.299,06	31	41,91	628,58	0,97
Noviembre	5.508,63	6.120,70	1.339,32	30	44,64	669,66	1,03
Diciembre	5.925,07	6.583,41	1.440,57	31	46,47	697,05	1,07
Total año	64.052,04	71.168,94	15.573,07	365			

Tabla 39. Dimensionado volumen silo de almacenamiento

Para el abastecimiento en un período de 15 días, es necesario un volumen de combustible de 1,07 m³, por lo que el silo de almacenamiento deberá tener una capacidad de almacenaje superior.

Para la selección y presupuesto de los distintos componentes necesarios de una instalación de biomasa se utilizará la guía comercial del fabricante Bicalora.

Se selecciona un silo textil tipo con capacidad suficiente para almacenar el combustible necesario:

n° ref	Descripción	Precio	D
ECO120	Dimensiones (largo, ancho, alto)	1.427 €	AD
	Volumen		
	Toneladas		
ECO150	Dimensiones (largo, ancho, alto)	1.490 €	AD
	Volumen		
	Toneladas		
ECO170	Dimensiones (largo, ancho, alto)	1.555 €	AD
	Volumen		
	Toneladas		



Figura 51. Selección silo de almacenaje de combustible

Será además necesaria la adquisición de un sistema de protección para dicho silo:


n° ref	Descripción	Precio	D	
Sistema de protección para silos a la intemperie. Incluye un toldo de protección de PVC, una estructura de acero galvanizado que se acopla con la estructura del silo para instalar la protección de PVC y un tubo que posibilita el llenado neumático del silo. Silo no incluido en el precio. Color de PVC a elegir.				
EXT120	Válido para SPI20, Volumen 1,1 m ³ , 0,7 tn.	1.207 €	AD	
EXT150	Válido para SPI50, Volumen 1,7 m ³ , 1,1 tn.	1.283 €	AD	
EXT170	Válido para SPI70, Volumen 2,3 m ³ , 1,5 tn.	1.355 €	AD	
EXT200	Válido para SP200, Volumen 3,1 m ³ , 2,0 tn.	1.444 €	AD	
EXT250	Válido para SP250, Volumen 5,1 m ³ , 3,3 tn.	1.590 €	AD	
EXT300	Válido para SPI20, Volumen 7,1 m ³ , 4,6 tn.	1.817 €	AD	

Figura 52. Selección del sistema de protección del silo

Por último, es necesario un sistema de conexión para alimentar la caldera:





n° ref	Descripción	Precio	D	
SR75MM	Sistema de conexión para sinfín rígido de 75 mm	360 €	AD	
SR90MM	Sistema de conexión para sinfín rígido de 90 mm	388 €	AD	
SF75MM	Sistema de conexión para sinfín flexible de 75 mm	437 €	AD	
SF90MM	Sistema de conexión para sinfín flexible de 90 mm	388 €	AD	
A50MM	Sistema de conexión para aspiración de 50 mm	360 €	AD	
A45MM	Sistema de conexión para aspiración de 45 mm	360 €	AD	
SF75-D	Sistema de conexión doble para sinfín flexible de 75 mm	437 €	AD	

Figura 53. Selección sistema de conexión silo y caldera

Caldera:

Para seleccionar la caldera adecuada, es preciso conocer su potencia mínima de funcionamiento. Para determinarla, se seguirán los siguientes pasos:

- Se fijarán las horas de funcionamiento de la caldera para el mes más desfavorable: 8h/día.
- Se determinará el consumo en kWh/día directamente a partir de la demanda energética para cada mes.
- Se calculará la potencia energética mínima a partir del consumo diario y el número de horas de funcionamiento.

La demanda de cada uno de los meses se corresponde con la calculada en el apartado 7 del presente trabajo. La información de los cálculos efectuados se recoge en la Tabla 40:

	Demanda (kWh)	Días	Demanda diaria (kWh)	Horas diarias de funcionamiento	Potencia (kW)
Enero	5.925,07	31	191,13	8	23,89
Febrero	5.351,67	28	191,13	8	23,89
Marzo	5.808,66	31	187,38	8	23,42
Abril	5.401,62	30	180,05	8	22,51
Mayo	5.348,86	31	172,54	8	21,57
Junio	4.951,01	30	165,03	8	20,63
Julio	4.883,23	31	157,52	8	19,69
Agosto	4.766,83	31	153,77	8	19,22
Septiembre	4.838,36	30	161,28	8	20,16
Octubre	5.343,04	31	172,36	8	21,54
Noviembre	5.508,63	30	183,62	8	22,95
Diciembre	5.925,07	31	191,13	8	23,89
Total año	64.052,04	365			

Tabla 40. Dimensionado de la potencia de la caldera

La caldera de nuestra instalación tendrá una potencia de 25 kW.

Se seleccionará una caldera P4 Pellet con una potencia de 25 kW, con aislamiento, capas absorbentes de ruido, sistema de limpieza del intercambiador automático y control diferencial de temperatura para depósito ACS.

En el presupuesto también se incluirá el coste del transporte y puesta en marcha para nuestro tipo de caldera.

n° ref	Descripción	Precio	D	
14001	P4 Pellet 15	14,9 kW	9.931 €	D
14002	P4 Pellet 20	20,0 kW	10.472 €	D
14003	P4 Pellet 25	25,0 kW	10.688 €	D
14004	P4 Pellet 32	32,0 kW	12.105 €	D
14005	P4 Pellet 38	38,0 kW	13.121 €	D
14007	P4 Pellet 48	48,0 kW	14.858 €	D
14008	P4 Pellet 60	58,5 kW	15.158 €	D
14009	P4 Pellet 80	80,0 kW	21.922 €	I
14010	P4 Pellet 100	100,0 kW	22.274 €	I
14011	P4 Pellet 105	105,0 kW	22.499 €	I

Caldera P4 Pellet 15 - 100
 Incluye sistema de control Lambdatronic P3200, aislamiento, capas absorbentes de ruido, unidad de quemador con sistema de limpieza automático del intercambiador, control diferencial temperatura para depósito ACS así como control de compensación climático para un circuito mixto de calefacción.




Figura 54. Selección caldera comercial

Envíos y servicio técnico	Precio	D	
P4 15-32 kW	Transporte*	500 €	N
	Puesta en marcha	400 €	N
P4 38-60 kW	Transporte*	550 €	N
	Puesta en marcha	450 €	N
P4 80-105 kW	Transporte*	750 €	N
	Puesta en marcha	500 €	N
2 x P4 38-60 kW	Transporte*	850 €	N
	Puesta en marcha	900 €	N
2 x P4 80-105 kW	Transporte*	1.100 €	N
	Puesta en marcha	950 €	N
P4 15-32 kW con tolva	Transporte*	500 €	N
	Puesta en marcha	400 €	N

Figura 55. Selección servicio técnico y envío de caldera

○ Depósito de inercia:

Las calderas de combustibles sólidos, como es el caso de las calderas de biomasa, tienen una respuesta más lenta para su arranque y parada. Por esta razón se utiliza el depósito de inercia, para entregar energía térmica de inmediato cuando la caldera esté parada y exista demanda.

Cuando la caldera está en funcionamiento y deje de existir demanda, la energía térmica residual producida por la caldera hasta que pare su funcionamiento se acumulará en el depósito de inercia, lo que ayudará a satisfacer la demanda de manera inmediata y a aprovechar el combustible de forma más eficiente.

Para el dimensionado del depósito de inercia, se empleará la siguiente recomendación de fabricantes de calderas y depósitos, que indica que la relación entre la potencia de la caldera y el depósito de inercia debe estar comprendida entre 20-30 l/kW.

Con el objetivo de economizar la instalación se utilizará la relación de 20 l/kW, con la que se obtiene un volumen de 500 l.

Previamente a la selección de un depósito de inercia comercial, es necesario realizar la comprobación de que sea capaz de almacenar la energía residual producida en la caldera. Para ello es preciso realizar los siguientes cálculos:

1. Energía acumulable en el depósito, definiendo el rango de temperaturas del depósito es de 45-95°C.

$$E_{acumulable,dep} (kWh) = \frac{V_{dep}(m^3) \cdot \rho_{agua} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot C_{p,agua} \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right) \cdot (T_{sup} - T_{inf})(^{\circ}C)}{3600 (s/h)}$$

$$= \frac{0,5(m^3) \cdot 1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot 4180 \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right) \cdot (90 - 45)(^{\circ}C)}{3600 (s/h)} = 26,12 kWh$$

2. Energía residual que admite el depósito teniendo en cuenta que el margen de temperaturas residual es de 80-95°C.

$$E_{residual,dep} (kWh) = \frac{V_{dep}(m^3) \cdot \rho_{agua} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot C_{p,agua} \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right) \cdot (T_{res sup} - T_{res inf})(^{\circ}C)}{3600 (s/h)}$$

$$= \frac{0,5(m^3) \cdot 1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot 4180 \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right) \cdot (95 - 80)(^{\circ}C)}{3600 (s/h)} = 8,71 kWh$$

3. La energía residual en la caldera suponiendo que está a media carga durante media hora.

$$E_{residual,cal} (kWh) = \frac{P_{caldera}(kW)}{2} \cdot 0,5 (h) = \frac{25kW}{2} \cdot 0,5 (h) = 6,25 kWh$$

4. Tiempo de margen del depósito de inercia.

$$T_{margen} (h) = \frac{E_{acumulable,depósito} (kWh)}{P_{caldera}(kW)} = \frac{26,12}{P_{caldera}(kW)} = 0,35 h$$

Para comprobar el correcto diseño del depósito, la energía residual de la caldera no deberá ser mayor que la que admite el depósito.

Energía acumulable dentro del depósito (kWh)	26,12
Energía residual acumulable dentro del depósito (kWh)	8,71
Energía residual de la caldera (kWh)	6,25
Tiempo de margen del depósito de inercia (h)	0,35

Tabla 41. Resumen comprobaciones para el depósito de inercia

Como se observa en la Tabla 41 la energía residual que admite el depósito es mayor que la energía residual de la caldera, por lo que el dimensionado del depósito de inercia es correcto.

Comercialmente se seleccionará un depósito de inercia estratificado de 700 litros realizado en chapa de acero con imprimación anticorrosiva en el exterior.

n° ref	Descripción	Precio	D
Depósito de inercia estratificado			
Depósito de inercia estratificado realizado en chapa de acero St 37-2, con imprimación anticorrosiva en el exterior, equipado con elementos especiales para la estratificación. Se entrega con todas las conexiones.			
15332D	Depósito de inercia 700 D 785 mm A 1647 mm	628 €	D
15333D	Depósito de inercia 850 D 785 mm A 1950 mm	641 €	D
15304D	Depósito de inercia 1000 D 785 mm A 2160 mm	656 €	D
15305D	Depósito de inercia 1500 D 960 mm A 2180 mm	879 €	D
15335D	Depósito de inercia 1800 D 1090 mm A 2185 mm	1.063 €	D
15336D	Depósito de inercia 2200 D 1090 mm A 2640 mm	1.270 €	D




Figura 56. Selección depósito de inercia de la instalación

Además, se adquirirá un aislamiento de espuma blanda para dicho depósito, con el que minimizar las pérdidas de calor de este:

Descripción	n° ref	Precio	n° ref	Precio	D
Combi depósitos de inercia izquierdo / central					
Todos los depósitos de inercia están equipados con bridas de conexión ø 76,1 mm, 3 bridas para los de 700 y 850 litros y 4 bridas para los de 1000-2200 litros y conexiones flexibles para los depósitos.					
		Poliéster*		Espuma blanda**	
Aislamiento depósito 700	15861A	410 €	15761A	280 €	AD
Aislamiento depósito 850	15862A	424 €	15762A	302 €	AD
Aislamiento depósito 1000	15863A	447 €	15763A	322 €	AD
Aislamiento depósito 1500	15864A	530 €	15764A	403 €	AD
Aislamiento depósito 1800	15865B	595 €	15765B	455 €	AD
Aislamiento depósito 2200	15866A	683 €	15766A	542 €	AD

Figura 57. Selección aislamiento del depósito de inercia

Incluyendo en la Tabla 42 las distintas partidas de presupuesto, el presupuesto total de la instalación de biomasa es el siguiente:

Motivo	Coste (€)
Caldera P4 25 kW	10.688
Transporte y puesta en marcha de la caldera	900
Depósito de inercia 700 l	628
Aislamiento depósito de inercia	280
Silo de almacenamiento textilp	1.427
Sistema de protección silo	1.207
Sistema de conexión silo-caldera	360
Total	15.490
Total con IVA	18.742

Tabla 42. Partidas de presupuesto instalación biomasa

Paralelamente a este presupuesto que se ha elaborado a partir del catálogo comercial, es conocido que el coste de una instalación de biomasa puede determinarse por la siguiente expresión, propuesta por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo:

$$\text{Coste caldera llave en mano (€)} = 880 \cdot P_N^{0,87} = 880 \cdot 25^{0,87} = 14.477 \text{ €}$$

$$\text{Coste obra civil (€)} = 400 \cdot P_N = 400 \cdot 25 = 10.000 \text{ €}$$

Donde P_N es igual a la potencia nominal de la caldera.

Así, el coste de la inversión total necesaria teniendo en cuenta un IVA del 21% es el siguiente:

$$\text{Inversión (€)} = (880 \cdot 25^{0,87} + 400 \cdot 25) \cdot 1,21 = (14.477 + 10.000) \cdot 1,21 = 29.617,65 \text{ €}$$

Como se puede observar, el coste del equipamiento de caldera es similar al que anteriormente se había presupuestado, por lo que se considerará que esta estimación es válida también para el coste de obra civil, por lo que el presupuesto de la inversión inicial de la caldera de biomasa será de 29.617,65 €.

Respecto a la instalación solar térmica, también se dispone de una estimación para la instalación solar térmica propuesta por el Ministerio de Energía, Industria y Turismo que se utilizará para elegir el coste de la inversión necesaria. Las expresiones utilizadas son las siguientes:

$$\text{Inversión (€)} = 1.170 \cdot P_s = 1.170 \cdot 50,4 = 58.968,00 \text{ €}$$

Siendo P_s la potencia de la instalación solar térmica en kW.

La inversión necesaria total de nuestra instalación solar térmica con caldera de biomasa como equipo auxiliar que se aplicará en apartados posteriores en el análisis económico es:

$$\text{Inversión total (€)} = \text{Inversión solar} + \text{Inversión biomasa} = 58.968,00 + 29.617,65 = 88.585,65 \text{ €}$$

8.4.1.2. Análisis de resultados

Con los datos obtenidos del dimensionado de la instalación auxiliar e incluyendo los datos relativos a la instalación solar principal, el software realiza un informe de resultados con los aspectos más destacados de nuestra instalación.

En la Tabla 43 se muestra la demanda neta de energía de ACS y la aportación es esta que realiza la instalación solar y la caldera de apoyo. Se incluye también el factor solar de la instalación, que hace referencia a la relación entre la contribución solar y la demanda energética total.

	Rad. solar incidente (kWh)	Demanda neta (kWh)	Aport. Solar (kWh)	Aport. Auxiliar (kWh)	fsolar ACS
Enero	9.015	5.925	3.135	2.790	53
Febrero	9.732	5.352	3.131	2.221	59
Marzo	12.184	5.809	4.567	1.242	79
Abril	12.257	5.402	4.033	1.369	75
Mayo	12.416	5.349	4.315	1.034	81
Junio	12.220	4.951	4.221	730	85
Julio	13.253	4.883	3.587	1.296	73
Agosto	12.878	4.767	3.252	1.515	68
Septiembre	11.702	4.838	3.191	1.647	66
Octubre	10.479	5.343	3.196	2.147	60
Noviembre	8.336	5.509	3.422	2.086	62
Diciembre	7.947	5.925	2.774	3.151	47
Total año	132.419	64.052	42.825	21.227	67

Tabla 43. Aportación solar y auxiliar de la instalación solar térmica

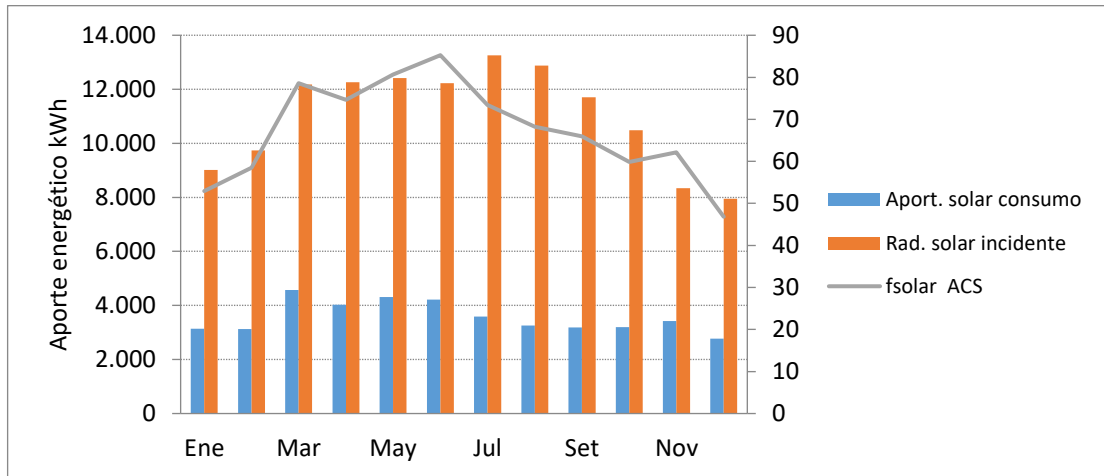


Figura 58. Distribución de la aportación solar y auxiliar

En la siguiente tabla perteneciente al Documento Básico de Ahorro de Energía, sección 4, se establece la contribución solar mínima anual para ACS según el consumo de ACS diario y la zona climática donde se encuentra el edificio. La temperatura de referencia es de 60°C, la misma que se ha utilizado tanto en la estimación energética como en la instalación solar diseñada en el programa.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Figura 59. Contribución solar mínima anual para ACS en %

Así pues, para una demanda de 3234 l/día de una edificación perteneciente a la zona climática V, el factor solar mínimo de la instalación es de 60%. Nuestra instalación tiene un factor solar del 67%, cumpliendo con el criterio recogido en el DB HE.

En cuanto al análisis económico de la sustitución de los calentadores eléctricos por la instalación solar térmica, si se tiene en cuenta los resultados de Transol en lo referido a la aportación solar y la aportación de biomasa para la demanda de ACS, se procederá de la siguiente forma:

- En primer lugar, se calculará el precio de la electricidad del escenario de partida. La demanda anual de ACS de 64.052 kWh y el precio de la electricidad, según facturas ofrecidas por el Ayuntamiento de Blanca, de 0,147908 €/kWh, por lo que el coste de abastecimiento anual es de 9.917,52 €.
- Del consumo anual de ACS, 42.825 kWh serán de aportación solar, por lo que no tendrán coste alguno adicional a la inversión inicial, y 21.227 kWh serán aportados por la caldera de biomasa.
- El combustible de nuestra caldera de biomasa ha sido definido con anterioridad. Posee un PCI de 4,57 kWh/kg y tiene un coste de 0,195 €/kg, con lo que el coste anual es de 905,75€ y se obtiene un ahorro anual en el suministro muy destacable.

La Tabla 44 muestra los resultados de las situaciones de partida y futura respecto del cambio. Se observa claramente el gran ahorro energético y sobre todo económico producido por el cambio.

	Consumo electricidad (kWh)	Coste electricidad (€)	Consumo pellets (kWh)	Coste pellets (€)	Coste total (€)
Escenario de partida	64.052,00	9.917,52	-	-	9.917,52
Escenario eficiente	42.825,00	-	21.227,00	905,75	905,75
			Ahorro (€)	8.568,06 (90,44%)	

Tabla 44. Ahorro económico producido por cambio en el suministro de ACS

Si se calcula el parámetro de rentabilidad como en apartados anteriores se obtiene un valor de 0,478, que se sitúa por encima de la media. Sin embargo, para comparar este valor con los anteriores hay que tener en cuenta que el aporte energético restante será más económico que el anterior, por lo que el valor es conservador y la rentabilidad de la instalación es mucho mayor.

8.4.2. Sustitución de los equipos de climatización

El edificio cuenta, en el escenario de partida, con cuatro equipos de climatización tipo bomba de calor de las siguientes características térmicas:

- Dos máquinas de 59,5kW de potencia frigorífica y 66kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=2,4 y EER=2,1: Refrigerante R-22.
- Una máquina de 20,9kW de potencia frigorífica y 23,5kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=2,187 y EER=2,14. Refrigerante R-407C.
- Una máquina de 38,9kW de potencia frigorífica y 40kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=2,65 y EER=2,00 Refrigerante R-407C.

Las dos primeras máquinas satisfacen la demanda de la parte del edificio del centro de día, las dos siguientes la parte de las habitaciones. Los equipos a sustituir están obsoletos y son ineficientes. Además, dos de ellos utilizan el refrigerante R22, que actualmente está prohibido según el Reglamento Europeo 1005/2009 por ser dañino para la capa de ozono, por lo que es conveniente sustituirlos por equipos que utilicen un refrigerante menos nocivo.

Las características de los nuevos equipos a instalar han sido proporcionadas por el fabricante Climaveneta, así como el presupuesto asociado. Son del tipo bomba de calor aire-aire partidos, con etapa de condensación y de evaporación independientes, al igual que los equipos existentes. El refrigerante empleado será R410a, que a diferencia de otros refrigerantes que contienen cloro y bromo, sólo contiene flúor, por lo que no contribuye a la reducción de la capa de ozono.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, para el correcto dimensionado de las instalaciones térmicas se ha de tener en consideración los cambios en la demanda del edificio si se van a implementar medidas en la envolvente del edificio o en las instalaciones de iluminación. Como es el caso de estudio, es necesario conocer la situación del edificio en cuanto a demanda una vez estas medidas sean aplicadas:

	Demanda calefacción (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)
Caso base	69,20	-	-
Edificio más rentable + LED	21,00	48,20	69,66
Edificio de mayor ahorro + LED	19,42	49,78	71,93

Tabla 45. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente y cambio a LED

	Demanda refrigeración (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)
Caso base	35,20	-	-
Edificio más rentable	25,18	10,02	28,46
Edificio de mayor ahorro	23,33	11,87	33,73

Tabla 46. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente y cambio a LED

Se presentan también los resultados correspondientes a la rehabilitación de la envolvente sin aislamiento de fachada por el exterior y el cambio a LED:

	Demanda calefacción (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)
Caso base	69,20	-	-
Edificio más rentable + LED	48,06	21,14	30,56
Edificio de mayor ahorro + LED	47,49	21,71	31,37

Tabla 47. Resultados en calefacción soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento fachada y cambio a LED

	Demanda refrigeración (kWh/m²)	Variación demanda (kWh/m²)	Variación demanda (%)
Caso base	35,20	-	-
Edificio más rentable	22,53	12,67	35,99
Edificio de mayor ahorro	20,85	14,35	40,76

Tabla 48. Resultados en refrigeración soluciones seleccionadas envolvente sin aislamiento fachada y cambio a LED

Para el escenario en el que se incluye aislamiento en el exterior las demandas disminuyen del orden de un 70% para calefacción y un 30 % para refrigeración, por lo que nuestras potencias también deberán variar en un porcentaje similar.

Por otro lado, para el escenario en el que no se incluye el aislamiento por el exterior de la fachada las demandas disminuyen del orden de un 30% para calefacción y un 35 % para refrigeración.

El dimensionado de los nuevos equipos deberá satisfacer las demandas de calefacción y refrigeración, por lo que los nuevos equipos estarán limitados por refrigeración en el caso en el caso en el que se tiene aislamiento en la fachada y por la calefacción para el otro.

Por la similitud en la disminución de la demanda de refrigeración, en ambos casos la sustitución de los equipos será la misma. La descripción de estos es la siguiente:

- Dos máquinas de 39,7kW de potencia frigorífica y 46,4kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=3,21 y EER=3. Refrigerante R-410a. A cargas de parciales, para 100%, 80%, 60% y 40% y 20%, el COP es de 3.22, 3,29, 3,42, 3,35 y 2,96, y el ERR cambia para esos porcentajes de carga de 2,98, 3,07, 3,23, 3,16, 2,79.
- Dos máquinas de 22kW de potencia frigorífica y 33,1kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=2,98 y EER=2,46. Refrigerante R-410a. A cargas de parciales, para 100%, 80%, 60% y 40% y 20%, el COP es de 2,98, 3,18, 3.55, 3.66 y 2,34, y el ERR cambia para esos porcentajes de carga de 2,46, 2,92, 3,15, 3,23, 2,93.

Las dos primeras máquinas se sustituirán por las dos que satisfacían la demanda del centro de día, las otras dos se sustituirán por las de la parte de la residencia.

La potencia total de los equipos en refrigeración se ha reducido de 178,8 kW a 123,4 kW, con una reducción del 30,98% y la potencia de calefacción de 195,5 kW a 159 kW, con una reducción del 18,6%.

Todos los equipos de climatización se han obtenido con su presupuesto del fabricante Climaveneta. Todos ellos cumplen el Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios, ya que los nuevos rendimientos lo cumplen.

Los presupuestos ofertados para los distintos equipos se recogen en la Tabla 49.

Equipos	Coste (€)	Cantidad
Equipo de 39,7kW de potencia frigorífica y 46,4kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=3,21 y EER=3. Refrigerante R-410a	15.080,83	2
Equipo de 22kW de potencia frigorífica y 33,1kW de potencia calorífica. Rendimientos nominales en origen: COP=2,98 y EER=2,46.	9.099,61	2
Coste total (€):	48.360,88	

Tabla 49. Coste de los equipos de climatización

Estos cambios en los equipos de climatización mejoran considerablemente en rendimientos los de los antiguos equipos. Esto nos proporcionará un ahorro en el consumo de electricidad del edificio necesario para satisfacer la demanda del edificio. Además, la bajada de potencia y la posibilidad de trabajar a cargas parciales también es muy beneficiosa en cuanto al ahorro energético.

En el siguiente apartado se estudiará el ahorro en la demanda de todas las medidas que influyen en ella y el ahorro en consumo una vez se introduzcan los nuevos equipos de climatización en ese escenario. No

obstante, en la Tabla 50 se muestran los ahorros que produce el cambio de equipos de climatización como medida única en el edificio así como su parámetro de rentabilidad.

	Inversión (€)	Ahorro calefacción (%)	Ahorro calefacción (kWh)	Ahorro refrigeración (%)	Ahorro refrigeración (kWh)	Ahorro total (kWh)	PR (kWh/€)
Nuevos equipos de climatización	48.360,88	21,90	14.702,01	21,80	18.371,31	33.073,32	0,68

Tabla 50. Ahorros producidos por el cambio de equipos de climatización

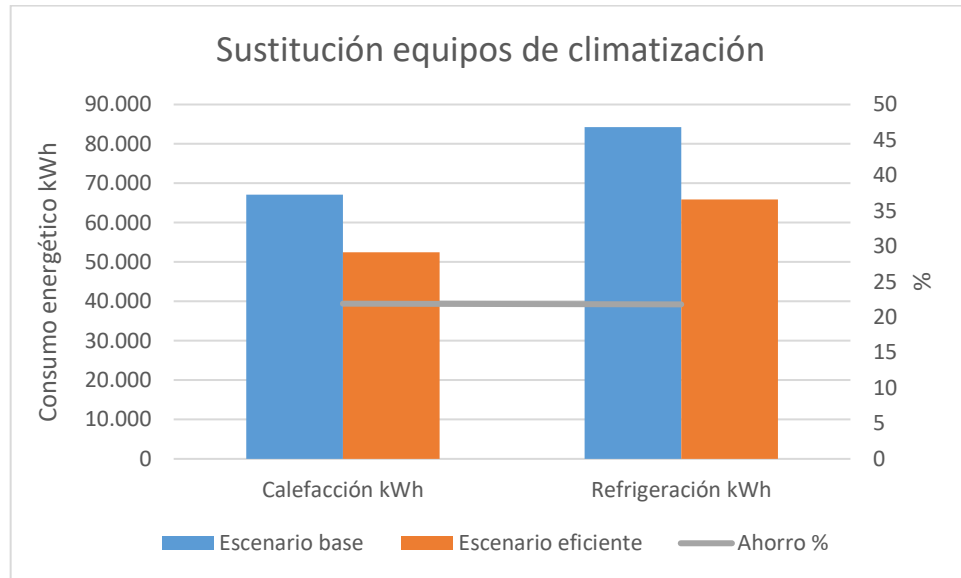


Figura 60. Ahorros producidos por el cambio de equipos de climatización

Se observa como el simple cambio de los equipos de climatización proporciona un gran ahorro y tiene un elevado parámetro de rentabilidad.

9. Rentabilidad económica de las soluciones propuestas

Una vez seleccionadas las medidas a aplicar en nuestro edificio se analizará la rentabilidad económica del conjunto de ellas. Se realizará VAN y TIR de las diferentes soluciones.

Para ello, en primer lugar, se seleccionarán las medidas, tanto la más rentable como la de mayor ahorro que afecten a la demanda del edificio, esto es, las medidas de mejora en la envolvente y el cambio de la instalación de iluminación. Posteriormente se introducirán los cambios en los equipos de climatización y de suministro de ACS.

Como se ha señalado con anterioridad, se realizará el análisis económico tanto para el escenario en el que se incluye aislamiento por el exterior de la fachada como para la que no. Con los resultados obtenidos se tendrá información para determinar cuál es la mejor solución a escoger.

En primer lugar, se realizará todo el proceso para el edificio con aislamiento de fachada por el exterior. Una vez realizado, se procederá de igual forma para el edificio sin el aislamiento.

En la Tabla 51 se muestran los ahorros energéticos obtenidos en por el cambio de la envolvente y la iluminación.

	Ahorro calefacción (%)	Ahorro calefacción (kWh)	Ahorro refrigeración (%)	Ahorro refrigeración (kWh)	Ahorro iluminación (%)	Ahorro iluminación (kWh)	Ahorro total (kWh)
Edificio más rentable + LED	69,66	46.763,43	28,46	23.982,59	59,10	19.546,15	90.292,17
Edificio con más ahorro + LED	71,93	48.288,39	33,73	28.424,97	59,10	19.546,15	96.259,51

Tabla 51. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente y cambio a tecnología LED

En los resultados de ahorros obtenidos sobre el consumo en calefacción y refrigeración se aprecia como la demanda que se debe satisfacer se ha reducido considerablemente. Si se incluyen ahora los nuevos equipos de climatización, los ahorros energéticos crecerán notablemente.

	Ahorro calefacción (%)	Ahorro calefacción (kWh)	Ahorro refrigeración (%)	Ahorro refrigeración (kWh)	Ahorro iluminación (%)	Ahorro iluminación (kWh)	Ahorro total (kWh)
Edificio más rentable + LED + equipos	76,30	51.222,07	44,05	37.121,85	59,10	19.546,15	107.890,07
Edificio con más ahorro + LED + equipos	78,08	52.417,03	48,18	40.602,28	59,10	19.546,15	112.565,46

Tabla 52. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente, cambio a tecnología LED y nuevos equipos de climatización.

A modo de resumen y poniendo en común todos los ahorros, se presentan las siguientes tablas, tanto para el edificio con las soluciones de rentabilidad como para el de mayor ahorro, que recogen los datos de ahorro anual energético y económico una vez realizadas todas las mejoras:

- Edificio mayor rentabilidad:

	Escenario de partida kWh	Escenario eficiente kWh	Ahorro (%)	Ahorro total kWh
Iluminación	33.073,02	13.526,86	59,10	19.546,15
Calefacción	67.132,47	15.910,40	76,30	51.222,07
Refrigeración	84.272,07	47.150,22	44,05	37.121,85
ACS	64.052,04	21.227,00 (pellets)	66,86	42.825,04
Otros	33.890,40	33.890,40	0,00	0,00
Total	282.420,00	131.704,88	53,37	150.715,27

Tabla 53. Ahorro energético en el edificio de mayor rentabilidad

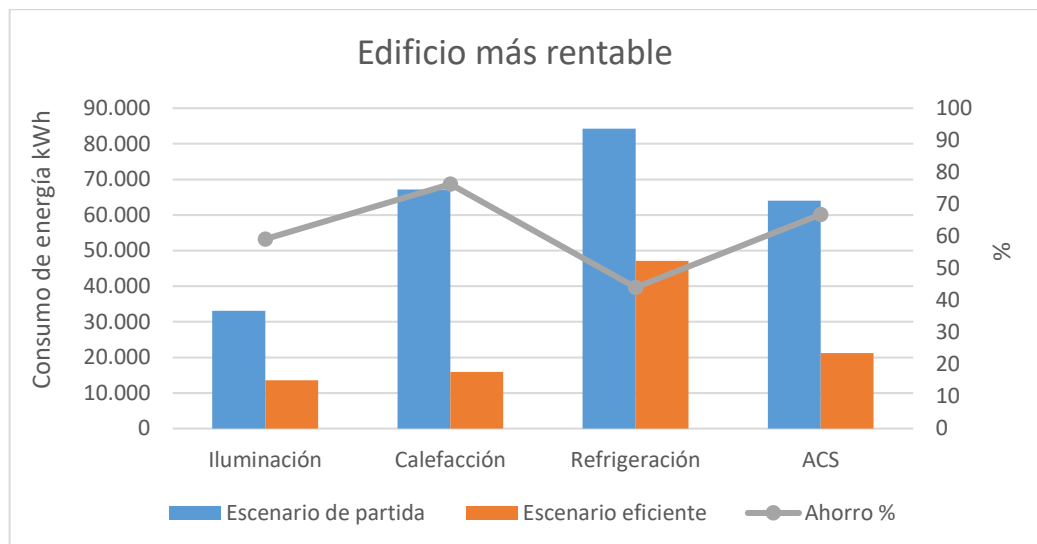


Figura 61. Ahorro energético en el edificio de mayor rentabilidad

	Escenario de partida €	Escenario eficiente €	Ahorro total €
Iluminación	4.891,76	2.000,73	2.891,03
Calefacción	9.929,43	2.353,27	7.576,15
Refrigeración	12.464,51	6.973,90	5.490,62
ACS	9.473,81	905,75	8.568,06
Otros	5.012,66	5.012,66	0,00
Total	41.772,18	17.246,31	24.525,87 (58,71%)

Tabla 54. Ahorro económico en el edificio de mayor rentabilidad

- Edificio mayor ahorro:

	Escenario de partida kWh	Escenario eficiente kWh	Ahorro (%)	Ahorro total kWh
Iluminación	33.073,02	13.526,86	59,10	19.546,15
Calefacción	67.132,47	14.715,44	78,08	52.417,03
Refrigeración	84.272,07	43.669,79	48,18	40.602,28
ACS	64.052,04	21.227,00 (pellets)	66,86	42.825,04
Otros	33.890,40	33.890,40	0,00	0,00
Total	282.420,00	127.029,48	55,02	155.390,51

Tabla 55. Ahorro energético total en el edificio de mayor ahorro

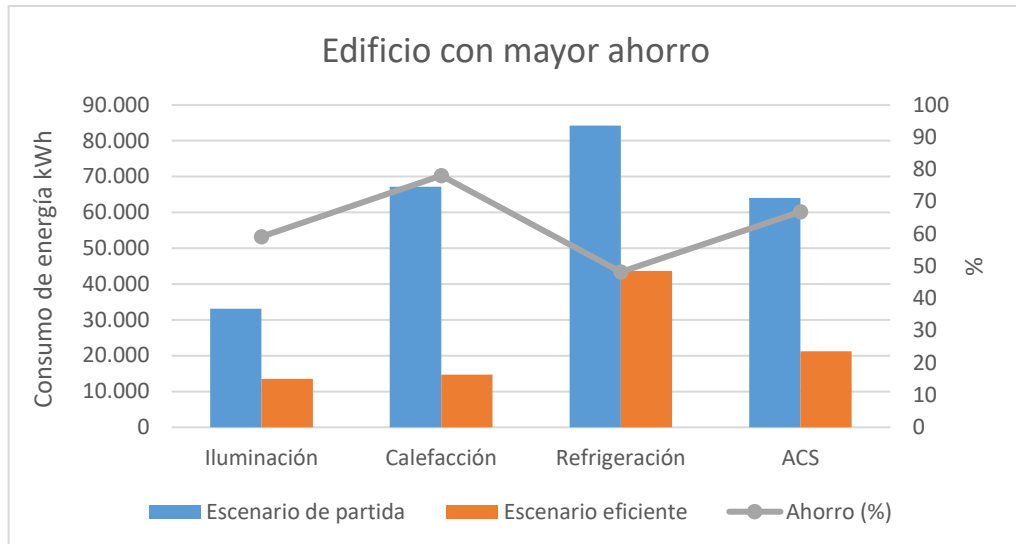


Figura 62. Ahorro energético en el edificio de mayor ahorro

	Escenario de partida €	Escenario eficiente €	Ahorro total €
Iluminación	4.891,76	2.000,73	2.891,03
Calefacción	9.929,43	2.176,53	7.752,90
Refrigeración	12.464,51	6.459,11	6.005,40
ACS	9.473,81	905,75	8.568,06
Otros	5.012,66	5.012,66	0,00
Total	41.772,18	16.554,78	25.217,40 (60,37%)

Tabla 56. Ahorro económico total en el edificio de mayor ahorro

Una vez se ha calculado el ahorro económico anual para el escenario de mayor rentabilidad y el de mayor ahorro se procederá a calcular el VAN y TIR a 20 años.

El VAN se calculará como la diferencia entre el ahorro con el mantenimiento necesario de la instalación menos la inversión inicial. Ahorro y mantenimiento se calcularán a partir de las siguientes expresiones:

$$Ahorro = Ahorro_{\text{primer año}} \cdot \left[\left(\frac{1+c}{1+e} \right)^1 + \left(\frac{1+c}{1+e} \right)^2 + \dots + \left(\frac{1+c}{1+e} \right)^{20} \right]$$

$$Mantenimiento = Mantenimiento_{\text{primer año}} \cdot \left[\left(\frac{1+i}{1+e} \right)^1 + \left(\frac{1+i}{1+e} \right)^2 + \dots + \left(\frac{1+i}{1+e} \right)^{20} \right]$$

$$VAN = Ahorro - Mantenimiento - I_0$$

Siendo I_0 la inversión inicial.

Los datos necesarios para el análisis económico se recogen en la Tabla 57:

e: Interés para capital (%)	1,5%
c: Inflación energía (%)	3%
Mantenimiento (respecto de la inversión en equipos de climatización, instalación solar térmica e instalación de biomasa)	1%
i: Inflación del mantenimiento (%)	1,5%

Tabla 57. Datos análisis económico

En la Tabla 58 se muestran las distintas partidas del edificio con mayor rentabilidad:

Partida	Coste (€)
Aislamiento de cubierta	12.779,05
Aislamiento de fachada por el exterior	76.126,32
Aislamiento de suelo	8.011,65
Sustitución de la carpintería	120.905,93
Toldos	24.701,76
Iluminación	27.167,19
Instalación solar térmica y biomasa	89.585,65
Sustitución equipos de climatización	48.360,88
Total	407.638,43

Tabla 58. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad.

Teniendo en cuenta el ahorro generado anualmente y contando con un mantenimiento del 1% para la instalación solar y de biomasa y los equipos los resultados del cálculo del VAN se muestran en la Tabla 59:

Año	VAN (€)	Año	VAN (€)
0	-407.638,43	11	-127.887,68
1	-384.129,58	12	-100.020,33
2	-360.252,91	13	-71.720,76
3	-336.003,01	14	-42.982,58
4	-311.374,35	15	-13.799,32
5	-286.361,32	16	15.835,61
6	-260.958,27	17	45.928,88
7	-235.159,41	18	76.487,26
8	-208.958,90	19	107.517,63
9	-182.350,81	20	139.026,97
10	-155.329,10		

Tabla 59. VAN para el escenario de mayor rentabilidad

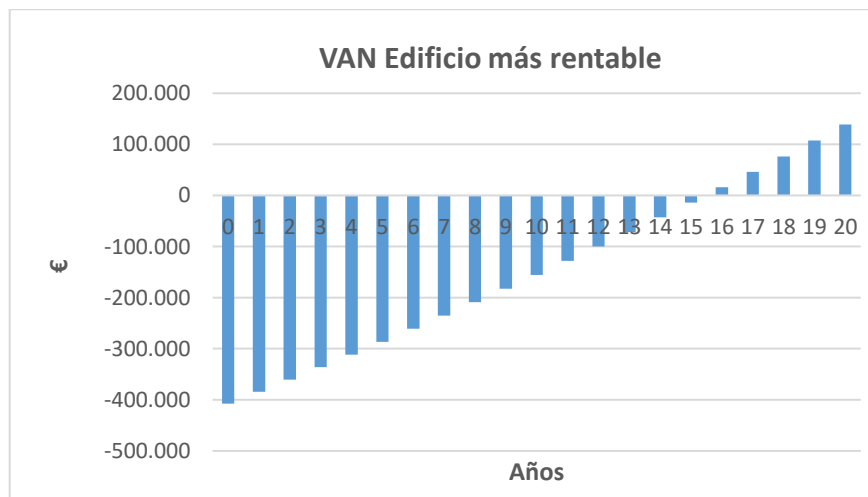


Figura 63. Representación gráfica del VAN para la inversión más rentable

VAN	139.026,97 €
TIR	4,36

Tabla 60. Parámetros económicos para el escenario de mayor rentabilidad

Se procede ahora del mismo modo para el edificio con mayor ahorro. En la Tabla 61 se muestran las distintas partidas del edificio con mayor ahorro:

Partida	Coste (€)
Aislamiento de cubierta	16.836,57
Aislamiento de fachada por el exterior	88.352,04
Aislamiento de suelo	8.987,98
Sustitución de la carpintería	139.453,18
Toldos	34.715,98
Iluminación	27.167,19
Instalación solar térmica y biomasa	89.585,65
Sustitución equipos de climatización	48.360,88
Total	453.459,47

Tabla 61. Inversión para el escenario de mayor ahorro energético

Los resultados del cálculo del VAN se muestran en la Tabla 62:

Año	VAN (€)	Año	VAN (€)
0	-453.459,47	11	-165.393,05
1	-429.248,87	12	-136.701,06
2	-404.660,09	13	-107.564,67
3	-379.687,54	14	-77.977,30
4	-354.325,55	15	-47.932,30
5	-328.568,37	16	-17.422,89
6	-302.410,16	17	13.557,78
7	-275.844,99	18	45.016,68
8	-248.866,84	19	76.960,88
9	-221.469,61	20	109.397,54
10	-193.647,11		

Tabla 62. VAN para el escenario de mayor ahorro energético

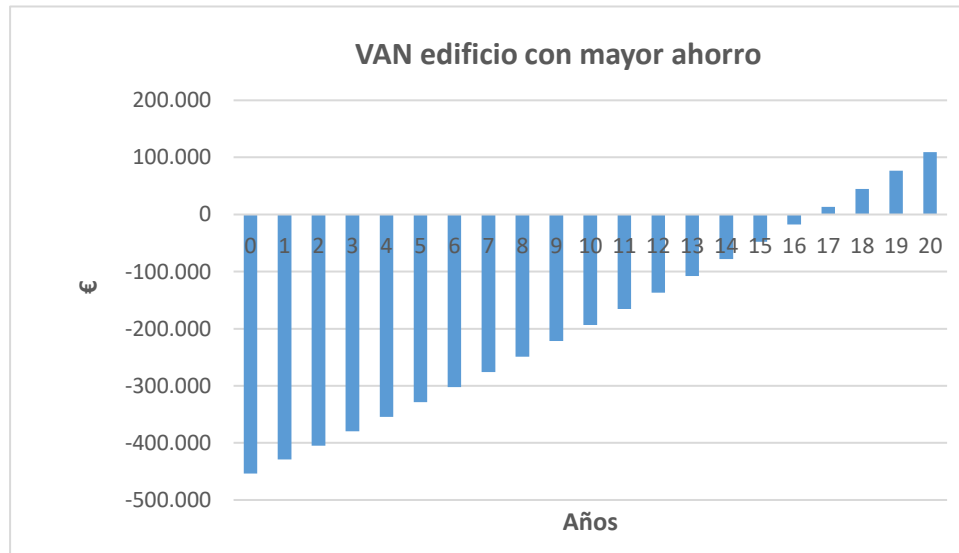


Figura 64. Representación gráfica del VAN para el escenario con mayor ahorro energético

VAN	109.397,54 €
TIR	3,58

Tabla 63. Parámetros económicos para el escenario de mayor ahorro energético

A continuación, se procede del mismo modo para el edificio en el caso en el que no se introduzca la medida de aislamiento por el exterior de la fachada.

	Ahorro calefacción (%)	Ahorro calefacción (kWh)	Ahorro refrigeración (%)	Ahorro refrigeración (kWh)	Ahorro iluminación (%)	Ahorro iluminación (kWh)	Ahorro total (kWh)
Edificio más rentable + LED	30,56	20.512,42	35,99	30.328,85	59,10	70.387,42	70.387,42
Edificio con más ahorro + LED	31,37	21.057,05	40,76	34.348,15	59,10	74.951,35	74.951,35

Tabla 64. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente sin aislante por el exterior de la fachada y cambio a tecnología LED

En la Tabla 64 se muestran los efectos de la rehabilitación de la envolvente y del cambio a LED. Con los ahorros obtenidos sobre el consumo en calefacción y refrigeración se aprecia como la demanda que se debe satisfacer se ha reducido considerablemente. Si se incluyen ahora los nuevos equipos de climatización, los ahorros energéticos crecerán notablemente.

	Ahorro calefacción (%)	Ahorro calefacción (kWh)	Ahorro refrigeración (%)	Ahorro refrigeración (kWh)	Ahorro iluminación (%)	Ahorro iluminación (kWh)	Ahorro total (kWh)
Edificio más rentable + LED + equipos	45,76	30.719,82	49,94	42.085,47	59,10	19.546,15	92.351,71
Edificio con más ahorro + LED + equipos	46,40	31.149,47	53,67	45.228,82	59,10	19.546,15	95.924,44

Tabla 65. Ahorro energético de las mejoras en la envolvente sin aislante por el exterior de la fachada, cambio a tecnología LED y nuevos equipos de climatización.

- Edificio mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada:

	Escenario de partida kWh	Escenario eficiente kWh	Ahorro (%)	Ahorro total kWh
Iluminación	33.073,02	13.526,86	59,10	19.546,15
Calefacción	67.132,47	36.412,65	45,76	30.719,82
Refrigeración	84.272,07	42.186,60	49,94	42.085,47
ACS	64.052,04	21.227,00 (pellets)	66,86	42.825,04
Otros	33.890,40	33.890,40	0,00	0,00
Total	282.420,00	147.243,51	47,86	135.176,48

Tabla 66. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada

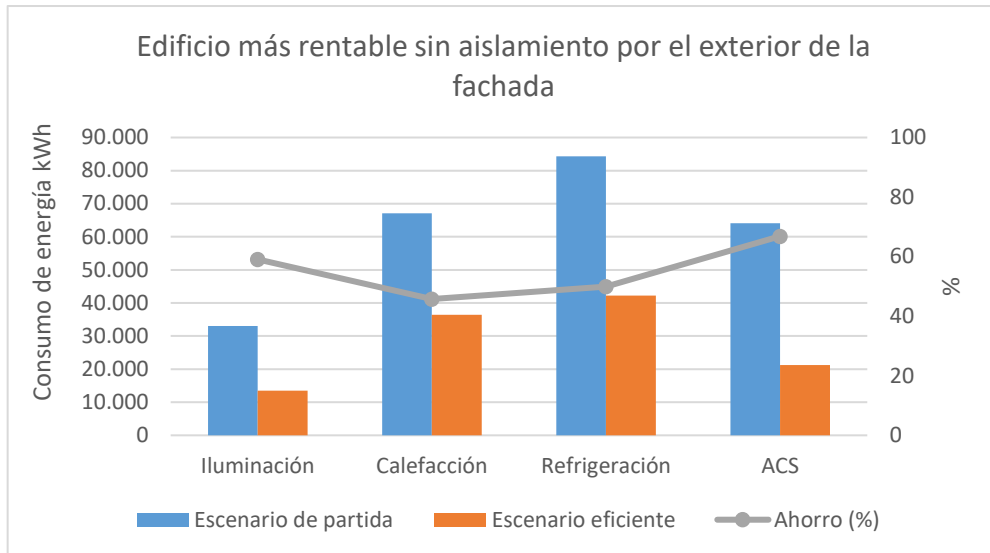


Figura 65. Ahorro energético total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada

	Escenario de partida €	Escenario eficiente €	Ahorro total €
Iluminación	4.891,76	2.000,73	2.891,03
Calefacción	9.929,43	5.385,72	4.543,71
Refrigeración	12.464,51	6.239,74	6.224,78
ACS	9.473,81	905,75	8.568,06
Otros	5.012,66	5.012,66	0,00
Total	41.772,18	19.544,60	22.227,58 (53,21%)

Tabla 67. Ahorro económico total en el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada

- Edificio mayor ahorro:

	Escenario de partida kWh	Escenario eficiente kWh	Ahorro (%)	Ahorro total kWh
Iluminación	33.073,02	13.526,86	59,10	19.546,16
Calefacción	67.132,47	35.983,00	46,40	31.149,47
Refrigeración	84.272,07	39.043,25	53,67	45.228,82
ACS	64.052,04	21.227,00 (pellets)	66,86	42.825,04
Otros	33.890,40	33.890,40	0,00	0,00
Total	282.420,00	143.670,51	49,13	138.749,49

Tabla 68. Ahorro energético total en el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

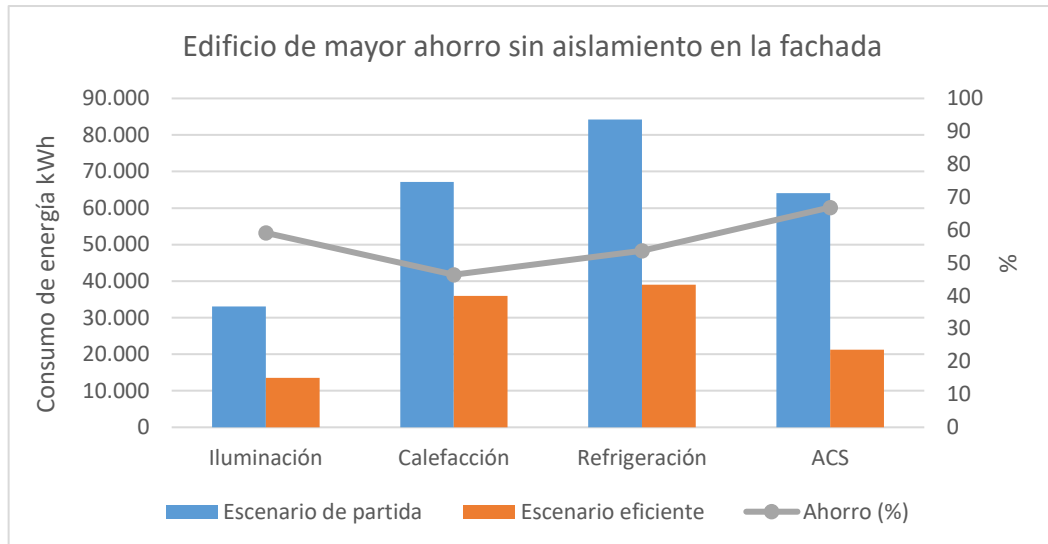


Figura 66. Ahorro energético en el edificio de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

	Escenario de partida €	Escenario eficiente €	Ahorro total €
Iluminación	4.891,76	2.000,73	2.891,03
Calefacción	9.929,43	5.322,17	4.607,26
Refrigeración	12.464,51	5.774,81	6.689,70
ACS	9.473,81	905,75	8.568,06
Otros	5.012,66	5.012,66	0,00
Total	41.772,18	19.016,12	22.756,05 (54,48%)

Tabla 69. Ahorro económico total en el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

Una vez se ha calculado el ahorro económico anual para el escenario de mayor rentabilidad y el de mayor ahorro se calcula el VAN y TIR a 20 años.

En la siguiente tabla se muestran las distintas partidas del edificio con mayor rentabilidad:

Partida	Coste (€)
Aislamiento de cubierta	12.779,05
Aislamiento de suelo	8.011,65
Sustitución de la carpintería	120.905,93
Toldos	24.701,76
Iluminación	27.167,19
Instalación solar térmica y biomasa	89.585,65
Sustitución equipos de climatización	48.360,88
Total	331.512,11

Tabla 70. Inversión para el escenario de mayor rentabilidad sin aislamiento por el exterior de la fachada.

Teniendo en cuenta el ahorro generado anualmente y contando con un mantenimiento del 1% para la instalación solar y de biomasa y los equipos los resultados del cálculo del VAN se muestran en la Tabla 71:

Año	VAN (€)	Año	VAN (€)
0	-331.512,11	11	-79.398,39
1	-310.335,51	12	-54.271,72
2	-288.825,57	13	-28.753,34
3	-266.977,36	14	-2.837,45
4	-244.785,88	15	23.481,82
5	-222.246,07	16	50.210,43
6	-199.352,77	17	77.354,43

7	-176.100,75	18	104.919,96
8	-152.484,73	19	132.913,24
9	-128.499,31	20	161.340,61
10	-104.139,05		

Tabla 71. VAN para el edificio más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada

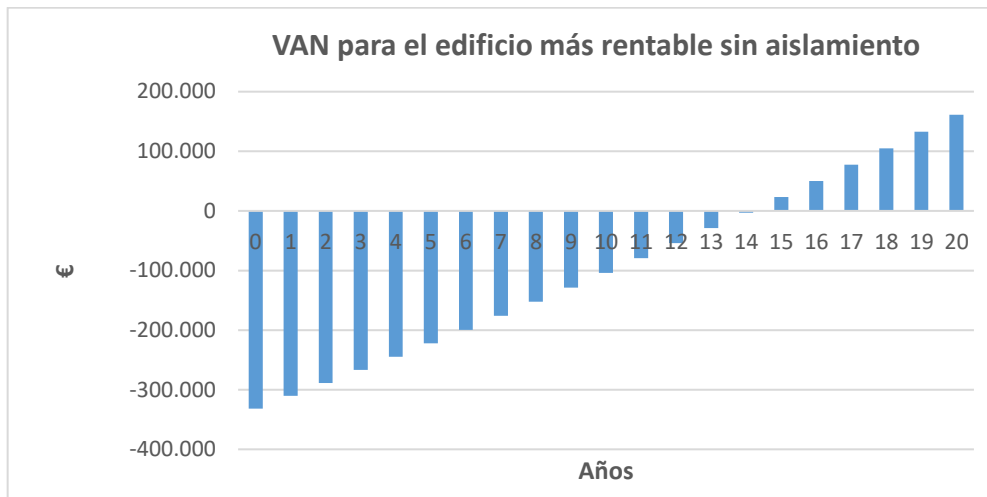


Figura 67. VAN para el edificio más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada

VAN	161.340,61 €
TIR	5,45

Tabla 72. Parámetros económicos solución más rentable sin aislamiento por el exterior de la fachada

En la Tabla 73 se muestran las distintas partidas del edificio con mayor ahorro:

Partida	Coste (€)
Aislamiento de cubierta	16.836,57
Aislamiento de suelo	8.987,98
Sustitución de la carpintería	139.453,18
Toldos	34.715,98
Iluminación	27.167,19
Instalación solar térmica y biomasa	89.585,65
Sustitución equipos de climatización	48.360,88
Total	365.107,43

Tabla 73. Inversión para el escenario de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada.

Los resultados del cálculo del VAN para este escenario se muestran en la Tabla 74:

Año	VAN (€)	Año	VAN (€)
0	-365.107,43	11	-106.638,78
1	-343.394,54	12	-80.881,91
2	-321.340,39	13	-54.724,01
3	-298.939,93	14	-28.159,16
4	-276.188,04	15	-1.181,33
5	-253.079,53	16	26.215,56
6	-229.609,13	17	54.037,73
7	-205.771,49	18	82.291,44
8	-181.561,18	19	110.983,08

9	-156.972,70	20	140.119,13
10	-132.000,45		

Tabla 74. VAN para la inversión de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

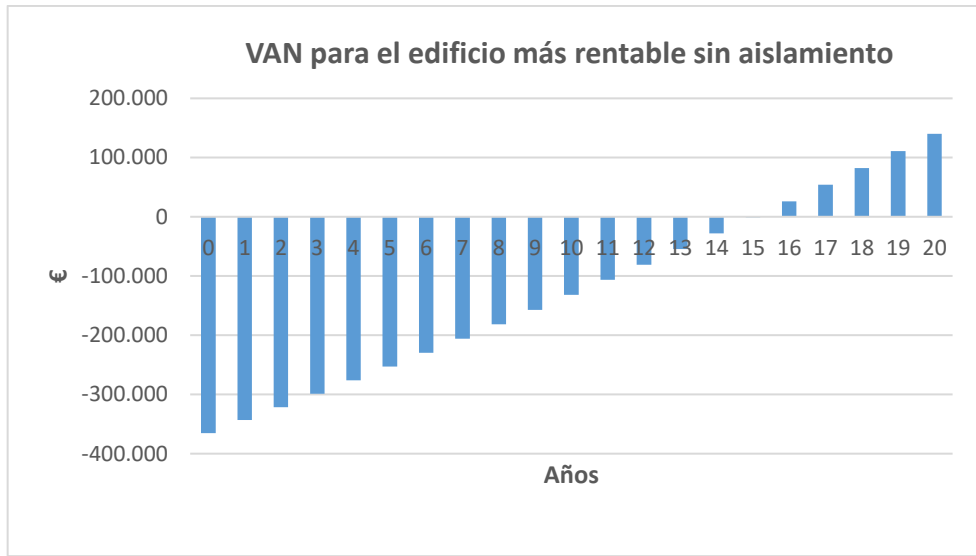


Figura 68. VAN para el edificio de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

VAN	140.119,13 €
TIR	4,69

Tabla 75. Parámetros económicos solución de mayor ahorro sin aislamiento por el exterior de la fachada

Para finalizar, en la Tabla 76 se presentan los valores del VAN de los cuatro escenarios contemplados:

Escenario	VAN	TIR
Edificio más rentable. Con aislamiento por el exterior de la fachada	139.026,97 €	4,36
Edificio con más ahorro. Con aislamiento por el exterior de la fachada	109.397,54 €	3,58
Edificio más rentable. Sin aislamiento por el exterior de la fachada	161.340,61 €	5,45
Edificio con más ahorro. Sin aislamiento por el exterior de la fachada	140.119,13 €	4,69

Tabla 76. VAN de los diferentes escenarios propuestos

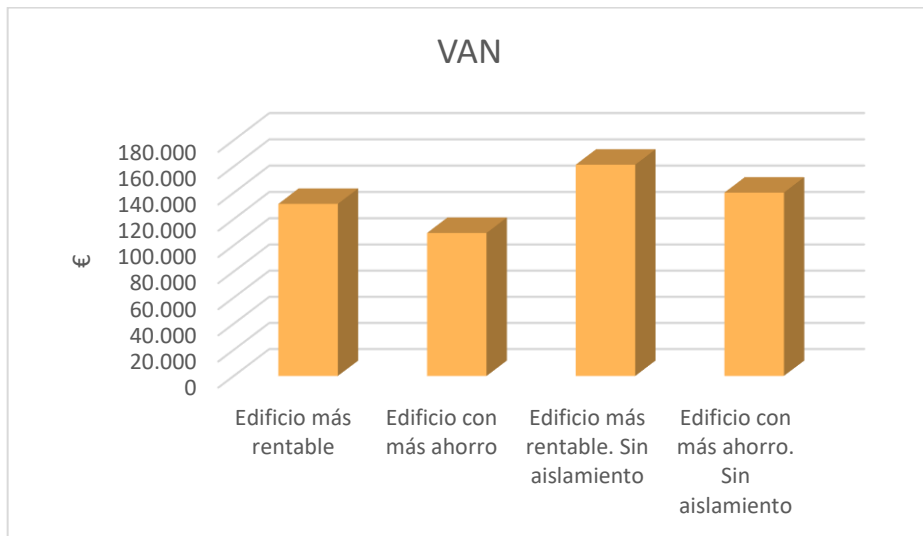


Figura 69. VAN para los diferentes escenarios estudiados

Como se observa, el escenario de mayor rentabilidad económica es el edificio con las soluciones más rentables pero sin aislamiento por el exterior de la fachada. Este escenario será la opción seleccionada a implementar.

No obstante pueden existir otros criterios de elección. Cuando el problema no es económico sino medioambiental y nuestro objetivo es conseguir el mayor ahorro energético aunque sea menos rentable, se escogerá el caso del edificio de mayor ahorro con aislamiento en la fachada.

El proceso que se ha realizado ayudará a estudiar distintos escenarios y analizar cuál de ellos es el que mejor se adecúa a nuestras posibilidades y necesidades.

Además, se observa como las inversiones no son rentables a muy corto plazo, si no que su período de amortización es de 15 años aproximadamente. Se constata así la necesidad de la existencia de ayudas y subvenciones para incentivar este tipo de actuaciones que conllevan un alto ahorro energético y beneficio para el medio ambiente.

10. Conclusiones

En el presente trabajo se ha descrito el proceso completo de análisis para la rehabilitación energética de un edificio real.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad sobre el efecto de introducir una gran variedad de soluciones para la renovación de la envolvente en la variación de la demanda del edificio producidos por la introducción de una gran variedad de materiales aislantes en cerramientos opacos de la envolvente y por los cambios de acristalamiento y marco de los huecos del edificio.

Se ha comprobado como el vidrio de control solar es el más adecuado para nuestra zona climática, además se ha observado que el vidrio bajo emisivo no es perjudicial para los meses de verano ya que la carga interna no es tan determinante como la externa. La combinación de ambos es la solución elegida.

Se ha constatado el gran ahorro energético producido por la incorporación de elementos de protección solar en un edificio con alta radiación solar y una gran cantidad de huecos en la fachada.

En cuanto a las instalaciones térmicas del edificio, se han comprobado los ahorros producidos por la sustitución de equipos de climatización del edificio por otros con mayores rendimientos. Además, se ha realizado el dimensionado de una instalación solar térmica con caldera de biomasa como sistema de apoyo para abastecer la demanda diaria de ACS y se ha comprobado su beneficio energético y económico.

De igual manera, se ha propuesto un cambio en el sistema de iluminación interior del edificio por otro basado en tecnología LED.

Por otro lado, se han detectado y registrado deficiencias en el funcionamiento del programa de referencia CE3X a la hora de realizar el análisis energético de un edificio.

Se ha constatado como las ayudas y subvenciones que ofrece la administración pueden ser de gran utilidad a la hora de incentivar la rehabilitación energética de edificios.

Se ha propuesto el análisis económico de los diferentes escenarios a partir de la selección de las mejores opciones en base a dos indicadores, definidos como:

- Relación entre el ahorro energético anual conseguido con la medida propuesta y su coste de implantación (kWh/€)
- Ahorro energético (kWh)

Finalmente, se ha seleccionado la opción más adecuada para la rehabilitación del edificio. Dicho escenario contempla una mejora en los aislamientos de suelo y cubierta, escogiendo los materiales con mayor parámetro de rentabilidad, pero sin actuar sobre las fachada opaca. El análisis de rentabilidad ofrece un VAN para 20 años de 161.340,61 € y una TIR para el mismo período de 5,45%.

Los materiales de aislamiento seleccionados son poliestireno extruido (XPS) de 40 mm de espesor y conductividad térmica de 0,029 (W/mK) para cubierta y lana de roca de 15 mm de espesor y conductividad térmica de 0,032 (W/mK) para suelo. Para los huecos se empleará un marco PVC de tres cámaras con vidrio de control solar y baja emisividad de $g=0,38$ y $U=1,8$ (W/m²K).

Como conclusión final, de este análisis comparativo se pueden extraer conclusiones que faciliten la toma de decisiones a la hora de establecer una estrategia para la rehabilitación energética de edificios, aplicable a multitud de escenarios según las características del edificio y el objetivo de la rehabilitación.

11. Bibliografía

- Documento básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación. 2013.
- Eficiencia energética en edificios; Apuntes de energías renovables. 2014, José Pablo Delgado Marín.
- Introducción a la rehabilitación energética. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Medidas pasivas para la mejora de la eficiencia energética. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Etapas de un proyecto de rehabilitación energética. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Auditorías energéticas. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Medidas activas para la mejora de la eficiencia energética. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Simulación energética de edificios. 2017, Leticia Ortega Madrigal, Laura Soto Francés.
- Manual de usuario CE3X v.2.3.
- Guías Técnicas para la rehabilitación de edificios desarrolladas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (IDAE).