

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio de alternativas de mejoras de la demanda e influencia de la variación de la temperatura de consigna para diferentes tipologías de edificios en España

Autor: Alfonso José Carballo Menayo

Tutor: José Sánchez Ramos

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio de alternativas de mejoras de la demanda e
influencia de la variación de la temperatura de
consigna para diferentes tipologías de edificios en
España

Autor:

Alfonso José Carballo Menayo

Tutor:

José Sánchez Ramos

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Proyecto Fin de Carrera: Estudio de alternativas de mejoras de la demanda e influencia de la variación de la temperatura de consigna para diferentes tipologías de edificios en España

Autor: Alfonso Carballo Menayo

Tutor: José Sánchez Ramos

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

En agradecimiento a mis familiares y amigos, por su apoyo, sin el cual no habría sido posible superar esta etapa de mi vida. Y a María del Carmen por su paciencia y dedicación.

Alfonso José Carballo Menayo

Sevilla, 2022

Resumen

El objetivo del presente documento es el análisis del estudio del coste óptimo de diferentes tipos de edificio en diferentes zonas de España. Los edificios estudiados son de carácter residencial privado. En un primer lugar se realiza una rehabilitación de edificios existentes utilizando paquetes de mejoras predefinidos. Conseguida la mejora óptima que permite rehabilitar el edificio de la manera más eficiente económicamente, se realiza una comparativa entre las mejoras óptimas que se aplican a los edificios, según la zona y tipo de edificio.

En segundo lugar, se realiza una variación en la temperatura de consigna. Se proponen los valores de 19°C en invierno y 27°C en verano, los valores tradicionales eran 20°C en invierno y 25°C. Los resultados obtenidos se analizan en función del tipo de edificio y zona climática, obteniéndose las reducciones de consumo y demanda energéticas, así como la reducción económica que supone esta variación.

Abstract

The aim of this document is to analyse the study of the optimal cost of different types of buildings in different areas of Spain. The buildings studied are private residential buildings. In a first step, a refurbishment of existing buildings is carried out using predefined improvement packages. Once the optimal improvement that allows the building to be refurbished in the most economically efficient way has been achieved, a comparison is made between the optimal improvements that are applied to the buildings, depending on the area and type of building.

Secondly, a variation in the setpoint temperature is carried out. The values of 19°C in winter and 27°C in summer are proposed, the traditional values being 20°C in winter and 25°C in summer. The results obtained are analysed according to the type of building and climate zone, obtaining the reductions in energy consumption and demand, as well as the economic reduction implied by this variation.

Agradecimientos	vi
Resumen	viii
Abstract	x
Índice	xi
Índice de Tablas	xiv
Índice de Ilustraciones	xvii
Notación	xxi
1. Introducción	23
1.1. <i>Definición de edificio de consumo de energía casi nulo.</i>	23
1.2. <i>Motivación de la rehabilitación de edificios.</i>	23
1.3. <i>Problemas ambientales asociados con la ineficiencia energética de edificios.</i>	24
1.4. <i>Acuerdos internacionales sobre el calentamiento global</i>	24
1.5. <i>Política europea frente al cambio climático.</i>	25
1.6. <i>Normativa relativa a la eficiencia energética de los edificios.</i>	25
1.7. <i>Medidas para el ahorro en climatización.</i>	26
1.8. <i>Ahorro en climatización en España.</i>	27
2. Estudio energético según tipo de edificio y clima.	28
2.1. <i>Bloque entremedianeras Sur. Zona climática A4.</i>	30
2.1.1. <i>Características constructivas del edificio.</i>	30
2.1.2. <i>Evaluación inicial del edificio.</i>	32
2.1.3. <i>Procedimiento de cálculo simplificado.</i>	33
2.1.4. <i>Cumplimiento de la normativa.</i>	38
2.1.5. <i>Propuestas de mejoras.</i>	40
2.1.6. <i>Análisis del Coste del Ciclo de Vida.</i>	42

2.1.7.	Selección óptima de la mejora.	46
2.2.	<i>Bloque entremedianeras Sur. Zona climática B4.</i>	49
2.2.1.	Evaluación inicial del edificio.	49
2.2.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	50
2.2.3.	Evaluación de las mejoras.	51
2.2.4.	Selección óptima de la mejora.	51
2.3.	<i>Bloque entremedianeras Sur. Zona climática C3.</i>	53
2.3.1.	Evaluación inicial del edificio.	53
2.3.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	54
2.3.3.	Evaluación de las mejoras.	55
2.3.4.	Selección óptima de la mejora.	55
2.4.	<i>Bloque entremedianeras Sur. Zona climática D3.</i>	57
2.4.1.	Evaluación inicial del edificio.	57
2.4.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	58
2.4.3.	Evaluación de las mejoras.	59
2.4.4.	Selección óptima de la mejora.	59
2.5.	<i>Bloque entremedianeras Sur. Zona climática E1.</i>	61
2.5.1.	Evaluación inicial del edificio.	61
2.5.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	62
2.5.3.	Evaluación de las mejoras.	63
2.5.4.	Selección óptima de la mejora.	63
2.6.	<i>Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática A4.</i>	66
2.6.1.	Características constructivas.	66
2.6.2.	Situación inicial.	67
2.6.3.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	67
2.6.4.	Evaluación de las mejoras.	68
2.6.5.	Selección óptima de la mejora.	69
2.7.	<i>Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática B4.</i>	71
2.7.1.	Situación inicial.	71
2.7.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	72
2.7.3.	Evaluación de las mejoras.	73
2.7.4.	Selección óptima de la mejora.	73
2.8.	<i>Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática C3.</i>	75
2.8.1.	Situación inicial.	75
2.8.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	76

2.8.3.	Evaluación de las mejoras.	77
2.8.4.	Selección óptima de la mejora.	77
2.9.	<i>Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática D3.</i>	79
2.9.1.	Situación inicial.	79
2.9.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	80
2.9.3.	Evaluación de las mejoras.	81
2.9.4.	Selección óptima de la mejora.	81
2.10.	<i>Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática E1.</i>	83
2.10.1.	Situación inicial.	83
2.10.2.	Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.	84
2.10.3.	Evaluación de las mejoras.	85
2.10.4.	Selección óptima de la mejora.	85
2.11.	<i>Análisis de resultados</i>	87
3	Estudio energético de la variación de la temperatura de consigna	90
3.1.	<i>Resultados obtenidos.</i>	91
3.2.	<i>Análisis de resultados</i>	92
4.	Conclusiones	93
	ANEXO I ZONAS CLIMÁTICAS	95
	ANEXO II. CÁLCULO DEMANDA DE ACS	96
	ANEXO III. Temperatura de agua de red	102
	Bibliografía	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones constructivas edificio entremedianeras.	30
Tabla 2. Transmitancias térmicas, edificio entremedianeras.	31
Tabla 3. Parámetros estremedianera Sur.	32
Tabla 4. Demanda edificio entremedianeras Sur clima A4.	33
Tabla 5. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima A4.	37
Tabla 6. Valores límites de transmitancia térmica.	38
Tabla 7. Valor límite de K_{lim} para uso residencial privado.	39
Tabla 8. Valor límite del parámetro del control solar.	39
Tabla 9. Valor límite de $C_{ep,nren,lim}$ para uso residencial privado.	40
Tabla 10. Valor límite de $C_{ep,total,lim}$ para uso residencial privado.	40
Tabla 11. Mejoras de la envuelta. Bloque entremedianeras, clima A4.	41
Tabla 12. Mejoras puentes térmicos. Bloque entremedianeras.	41
Tabla 13. Mejoras ACH noche.	41
Tabla 14. Mejoras control solar. Bloque entremedianeras.	42
Tabla 15. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima A4.	42
Tabla 16. Valores a y b para el cálculo de sobrecostes.	44
Tabla 17. Sobrecostes de ventanas.	45
Tabla 18. Rendimientos de los equipos.	45
Tabla 19. Coste de la energía.	45
Tabla 20. Factores de conversión de energía final a energía primaria.	46
Tabla 21. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima A4.	48

Tabla 22. Factores correctores. Bloque entremedianeras, clima B4.	51
Tabla 23. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima B4.	51
Tabla 24. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima B4.	52
Tabla 25. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima C3.	55
Tabla 26. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima C3.	55
Tabla 27. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima C3.	56
Tabla 28. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima D3.	59
Tabla 29. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima D3.	59
Tabla 30. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima D3.	60
Tabla 31. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima E1.	63
Tabla 32. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima E1.	63
Tabla 33. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima E1.	65
Tabla 34. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima A4.	68
Tabla 35. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima A4.	68
Tabla 36. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima A4.	70
Tabla 37. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima B4.	72
Tabla 38. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima B4.	73
Tabla 39. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima B4.	74
Tabla 40. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima C3.	76
Tabla 41. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima C3.	77
Tabla 42. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima C3.	78
Tabla 43. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima D3.	80
Tabla 44. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima D3.	81

Tabla 45. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima D3.	82
Tabla 46. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima E1.	84
Tabla 47. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima E1.	85
Tabla 48. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima E1.	86
Tabla 49. Comparativa entre demandas iniciales de los edificios y demandas finales.	87
Tabla 50. Medidas utilizadas en cada edificio.	88
Tabla 51. Comparativas entre demandas para las distintas temperaturas de consignas.	91
Tabla 52. Comparativas entre consumos para las distintas temperaturas de consignas	91
Tabla 53. Comparativa entre CCV para las diferentes temperaturas de consigna.	92

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Orientaciones geográficas.	30
Ilustración 2. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima A4.	32
Ilustración 3. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima A4.	33
Ilustración 4. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima A4.	37
Ilustración 5. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima A4.	47
Ilustración 6. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima A4.	47
Ilustración 7. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima B4.	49
Ilustración 8. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima B4.	50
Ilustración 9. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima B4.	50
Ilustración 10. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima B4.	51
Ilustración 11. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima B4.	52
Ilustración 12. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima C3.	53
Ilustración 13. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima C3.	54
Ilustración 14. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima C3.	54
Ilustración 15. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima C3.	55
Ilustración 16. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque	

entremedianeras, clima C3.	56
Ilustración 17. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima D3.	57
Ilustración 18. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima D3.	58
Ilustración 19. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima D3.	58
Ilustración 20. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima D3.	59
Ilustración 21. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima D3.	60
Ilustración 22. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima E1.	61
Ilustración 23. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima E1.	62
Ilustración 24. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima E1.	62
Ilustración 25. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima E1.	64
Ilustración 26. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima E1.	64
Ilustración 27. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima A4.	67
Ilustración 28. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima A4.	67
Ilustración 29. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima A4.	68
Ilustración 30. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima A4.	69
Ilustración 31. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima A4.	69
Ilustración 32. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima B4.	71

Ilustración 33. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima B4.	71
Ilustración 34. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima B4.	72
Ilustración 35. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima B4.	73
Ilustración 36. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima B4.	74
Ilustración 37. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima C3	75
Ilustración 38. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima C3.	75
Ilustración 39. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima C3.	76
Ilustración 40. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima C3.	77
Ilustración 41. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima C3.	78
Ilustración 42. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima D3.	79
Ilustración 43. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima D3.	79
Ilustración 44. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima D3.	80
Ilustración 45. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima D3.	81
Ilustración 46. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima D3.	82
Ilustración 47. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima E1.	83
Ilustración 48. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima E1.	83
Ilustración 49. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima E1.	84

Ilustración 50. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima E1. 85

Ilustración 51. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima E1. 86

Notación

NZEB	Edificio de energía casi nulo
DB-HE	Documento Básico de Ahorro de Energía
GEI.	Gases de Efecto Invernadero
UE	Unión Europea
HULC	Herramienta Unificada Líder Calener
CCV	Coste del Ciclo de Vida
ACS	Agua Caliente Sanitaria

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de edificio de consumo de energía casi nulo.

Según la definición establecida en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del consejo del 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios, un Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo es: “un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”. [1]

En España, se define un edificio de energía casi nulo (NZEB) como aquel edificio que cumple las exigencias reglamentarias establecidas para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). [2]

Las exigencias reglamentarias limitan, en función de la zona climática, tanto la demanda energética de los edificios de nueva construcción, como el consumo energético de energía primaria no renovable. Por ello, los edificios NZEB son edificios con alta eficiencia energética.

La construcción de edificios eficientes y rehabilitación de edificios debe realizarse desde el conocimiento de la construcción sostenible y de la normativa. De esta forma, los edificios serán construidos con una orientación acorde con la geolocalización del edificio. También se dotarán con una envolvente térmica, adecuada a la normativa y al clima, que permita disminuir la demanda del edificio. Y se implementarán las fuentes de energía renovable que mejor se adapten al edificio y al entorno. [3]

1.2. Motivación de la rehabilitación de edificios.

El problema del gran consumo de la energía en las viviendas no es un problema nacional, sino que es de ámbito internacional. En concreto, en Europa, el 40% de la energía producida se consume en las viviendas, las cuales son las causantes de la generación del 36% de los gases de efecto invernadero (GEI). Estos son los motivos por los cuales desde Europa se desea promover una construcción sostenible teniendo en cuenta los distintos sectores de la sociedad, de forma que se alcance un crecimiento económico y bienestar social. [4]

La Agencia Internacional de la Energía incide en el problema energético que supone el consumo energético ineficiente en las viviendas y destaca que los planes de construcción y rehabilitación deben de implantarse de forma inmediata, para conseguir que en 2050 se haya renovado el 60% del parque inmobiliario. [4]

En España existe una alta pobreza energética en el sector residencial, por ello muchos hogares no se encuentran en niveles de confort térmico. Esto se produce por el encarecido precio de la energía, los bajos ingresos de los

residentes y la ineficiencia energética de la vivienda. La rehabilitación de edificios afronta esta lamentable situación mejorando la eficiencia de las residencias y disminuyendo la demanda energética.

En España, es frecuente encontrar edificios construidos entre 1950 y 1970. El 55,6% de las viviendas se construyeron antes de 1979, donde todavía no se había aprobado la normativa NBE CT 79. Esta normativa recogía la obligación de colocar aislamiento térmico en las envolventes de los edificios, por tanto, una gran cantidad de edificios españoles carecen de adecuado aislamiento térmico. Las construcciones de obra antigua se caracterizan por la ineficiencia energética debido al uso de materiales que no son adecuados para la construcción de cerramientos o ventanas. También es frecuente encontrar edificios sin sistemas de calefacción. La elevada edad media de los edificios españoles dota de especial importancia la rehabilitación de los edificios nacionales. [5]

1.3. Problemas ambientales asociados con la ineficiencia energética de edificios.

Como se menciona anteriormente, los edificios son grandes productores de dióxido de carbono. Esta molécula es la principal causa del efecto invernadero. El efecto invernadero es el proceso por el cual la radiación emitida por la superficie terrestre es absorbida por los GEI y devuelta a la tierra. Si bien este proceso permite la vida en la tierra también es el causante del mayor problema ambiental al que se enfrenta la población mundial, el calentamiento global. Esto se produce por la combustión de combustibles fósiles, que provoca un exceso de GEI en la atmósfera.

Según datos de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) la concentración de CO₂ en la actualidad es de 400 ppm mientras que en la época preindustrial la concentración era de 280 ppm. Los edificios han contribuido a la evolución de estos datos, tanto con su alta demanda energética como con su alto consumo primario de energía no renovable. [6]

Las principales consecuencias de este aumento de la temperatura global son: la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos y de incendios forestales, riesgo de extinción de determinadas especies y la subida del nivel del mar. [6]

1.4. Acuerdos internacionales sobre el calentamiento global

Para tratar este problema de influencia mundial se han realizado numerosos acuerdos internacionales. En primer lugar, en 1992, en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se reconoció la existencia del cambio climático. Más tarde, en el protocolo de Kioto se comprometieron diferentes países a reducir la emisión de GEI. Además, de forma anual, se celebra la Conferencia de las Partes (COP), para revisar los compromisos de la CMNUCC y establecer nuevos objetivos.

En 2015 se celebró la XXI Conferencia sobre el Cambio Climático. En ella se firmó el pacto de París, en el cual se limita el calentamiento global a 2 grados centígrados. Este pacto fue firmado por 195 países, los cuales se

comprometen a reducir los gases de efecto invernaderos. El pacto de París impulsa una renovación en el parque inmobiliario para poder descarbonizar este sector.

1.5. Política europea frente al cambio climático.

En la Comisión Europea de 2019 se aprobó el Pacto Verde Europeo, cuyo objetivo es transformar la economía de la UE de manera sostenible. Esta transición se pretende realizar de manera justa ‘sin dejar a nadie atrás’. Para cumplir estos objetivos se debe financiar adecuadamente esta transición. [7]

El Pacto tiene como objetivo conseguir que Europa sea climáticamente neutra de aquí a 2050. Para conseguir este objetivo de La Comisión propuso la Ley Europea de Clima. En ella se plantea la reducción de las emisiones de CO₂ un 50% respecto a las actuales y para 2050 unas emisiones netas nulas. Para conseguir este reto se tiene que realizar una transformación en todos los sectores; industria, transporte y viviendas. [7]

También se promueve una transición hacia una energía limpia, segura y asequible. Para ello se plantea un mercado de la energía integrado, interconectado y digitalizado. Se prioriza la eficiencia energética, mejorando el rendimiento energético de los edificios e integrando fuentes renovables en estos. [7]

Otro de los aspectos que fomenta la Comisión Europea es asegurar la seguridad alimentaria ante el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, reduciendo la huella ambiental de nuestro sistema alimentario. El sector del transporte también es otro punto clave del Pacto Verde Europeo, ya que es el causante del 25% de las emisiones de GEI. Por tanto, se pretende un cambio ambicioso en todos los sectores para poder reducir las emisiones un 50% antes de 2050. [7]

1.6. Normativa relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Desde Europa se ha regulado la eficiencia de edificios y la eficiencia energética en la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Ambas han sido modificadas por la DIRECTIVA (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018. [8]

En estas directivas la Unión Europea se compromete a establecer un sistema energético sostenible, competitivo, seguro y descarbonizado. Hasta el año 2030 establecen compromisos ambiciosos de la Unión para seguir reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar la proporción de energía renovable consumida y conseguir un ahorro energético de acuerdo con las ambiciones a escala de la Unión, así como mejorar la seguridad energética, la competitividad y la sostenibilidad de Europa. [8]

La Unión Europea se ha comprometido a establecer un sistema energético, sostenible, competitivo y descarbonizado de aquí a 2050. Para alcanzar ese objetivo, los Estados miembros y los inversores necesitan medidas destinadas a alcanzar el objetivo a largo plazo de emisiones de gases de efecto invernadero y a

descarbonizar el parque inmobiliario, que es responsable de aproximadamente el 36 % de todas las emisiones de CO₂ de la Unión, de aquí a 2050.

Para lograr un parque inmobiliario descarbonizado y altamente eficiente desde el punto de vista energético y garantizar que las estrategias de renovación a largo plazo aporten los avances necesarios para transformar los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo, en particular mediante un aumento de las reformas profundas, los Estados miembros deben proporcionar unas orientaciones claras y definir acciones específicas y mensurables y promover un acceso igualitario a la financiación, en particular para los segmentos del parque inmobiliario nacional con peor rendimiento, para los consumidores que sufren pobreza energética, para las viviendas sociales y para las familias que se enfrentan a dilemas causados por la contraposición de incentivos, teniendo en cuenta al mismo tiempo la asequibilidad.

Los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que, cuando se efectúen reformas importantes en edificios, se mejore la eficiencia energética del edificio o de la parte renovada

En España el Documento Básico de Ahorro de Energía recoge una serie de limitaciones sobre la demanda energética que permitan alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad. Por otro lado, el DB-HE limita el consumo de energía primaria no renovable del edificio.

1.7. Medidas para el ahorro en climatización.

En la actualidad nos enfrentamos a una crisis energética. Los motivos diversos que nos llevan a ella, no son objeto de este documento, pero sí las medidas de mejoras propuestas que pueden beneficiar a los consumidores ya sean particulares o terceros, a afrontar la crisis mundial. El tema que se estudiará será el ahorro en el consumo de energía térmica, en concreto la reducción de la demanda de climatización en los edificios. En el proyecto, en primer lugar, se propone la reducción de la demanda mediante la mejora de las características constructivas del edificio hasta llegar a una situación de compromiso entre calidad y precio. Después de esta mejora, se propone la variación de la temperatura de consigna de los edificios.

Ante la situación insostenible del costo de la energía y la crisis de suministros mundial, tras la mejora constructiva del edificio, la siguiente medida para disminuir la demanda es la ampliación de la franja de confort térmico, y así, mantener los edificios en baremos térmicos más amplios. Las exigencias de confort térmico actuales son de 20°C para el régimen de calefacción y de 25°C para el régimen de invierno.

Como medida para la reducción de la demanda se estudiará la ampliación de la zona de confort, siendo la nueva franja de confort de 19°C para el invierno y 27°C para verano. También se estudiará el aumento de la temperatura de confort hasta 26°C para el verano. De esta forma puede reducirse el costo de la energía para particulares y colectivos. El ahorro económico será compensado con la adaptación física del individuo a nuevas situaciones de confort.

1.8. Ahorro en climatización en España.

El gobierno español prohíbe el funcionamiento del aire acondicionado por debajo de los 27°C en verano y los 19°C en inviernos [9]. Esta medida será impuesta para edificios públicos, infraestructuras de transporte, espacios culturales, espacios comerciales, grandes almacenes y hoteles.

La medida descrita anteriormente es objeto de estudio del presente documento. Se pretende cuantificar como afecta el hecho de cambiar las temperaturas de consigna actuales por unas menos restrictivas. Como resultado se obtendrá la disminución de la demanda energética, disminución del consumo energético y del coste del ciclo de vida de edificio que se acojan a las nuevas medidas. El estudio se realizará para edificios de uso residencial que no tienen la obligación de cumplir con esta medida. Por ello con el estudio se pretende proponer las mejoras para que el consumidor decida si acogerse o no a la propuesta del gobierno.

Además de la mejora descrita anteriormente, en la misma línea del ahorro energético, se plantean otras medidas como la obligación de instalar cierres automáticos de puertas en edificios terciarios, la restricción horaria para las luces de escaparates o la propuesta de impulsar el teletrabajo, para que se permita la concentración de horario, el ahorro en transporte y la disminución de consumo térmico de los edificios.

2. ESTUDIO ENERGÉTICO SEGÚN TIPO DE EDIFICIO Y CLIMA.

En este apartado se realizará un estudio de la reducción de la demanda de los edificios basada en el coste del ciclo de vida (estudio de coste óptimo) [10]. El estudio energético consiste en describir la situación energética del edificio actualmente para encontrar los aspectos del edificio que se pueden mejorar para convertirlo en un edificio eficiente energéticamente. Las mejoras se propondrán en paquetes de medidas y se calculará el coste asociado a cada medida o reforma sobre el edificio. La medida óptima que se seleccionará será la opción que cumpla mejor las expectativas de eficiencia energética y coste de ciclo de vida asociado, cumpliendo la normativa impuesta en el Documento Básico de Ahorro de Energía. [2]

Los tipos de edificios a los que se le aplicará este proceso son los siguientes:

- Bloque entremedianeras Sur.



- Vivienda unifamiliar aislada.



A continuación, se muestra la localidad en la que se encuentra el edificio, así como el clima asociado a dicha localidad:

- Almería (El edificio pertenece a las zonas de España con clima A4).
- Sevilla (El edificio pertenece a las zonas de España con clima B4).
- Madrid (El edificio pertenece a las zonas de España con clima C3).
- Granada (El edificio pertenece a las zonas de España con clima D3).
- Burgos (El edificio pertenece a las zonas de España con clima E1).

Las zonas climáticas para las distintas localidades de España se definen en el Anejo B de Documento Básico de Ahorro de Energía. En el presente documento se encuentra recogido dicho Anejo en el Anexo 1.

Se dispone a redactar el proceso de cálculo para los distintos edificios y localidades. El procedimiento a realizar es muy similar para todos los casos, por ello se detallará en primer lugar para el bloque entremedianeras Sur de la localidad de Almería (Zona climática A4) y más tarde se mostrarán los resultados obtenidos para el resto de las combinaciones edificio-clima. No obstante, se detallarán los datos de partida y aspectos que no se asemejen al desarrollo detallado para la localidad de Almería.

2.1. Bloque entremedianeras Sur. Zona climática A4.

2.1.1. Características constructivas del edificio.

El edificio en cuestión es una entremedianera de 1.236,21 m² de superficie; el volumen de la edificación es de 3.272,74 m³. Se define el parámetro de compacidad como el volumen de espacio del edificio entre la superficie de este, en este caso es de 3.33 [m³/m²]. La fachada principal y posterior se encuentran en la orientación Norte-Sur. En la orientación Este-Oeste el edificio colinda con otras edificaciones a ambos lados. La cubierta y solera del edificio también se encuentran en contacto con el exterior. Por tanto, las superficies a estudiar son la fachada Norte, fachada Sur, suelo y cubierta. A continuación, se muestra una tabla con las dimensiones constructivas de las superficies que se van a estudiar:

Orientación	Superficie total (m ²)	Área muros (m ²)	Área ventanas (m ²)	% Acrilado
NORTE	302.60	234.09	68.51	22.64
SUR	302.59	201.01	101.58	33.57
CUBIERTA	214.46	214.46	-	-
SUELO	163.76	163.76	-	-

Tabla 1. Dimensiones constructivas edificio entremedianeras.

En el Documento Básico HE se define el parámetro α como el ángulo formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada en sentido horario. En el caso que corresponde α se supone aproximadamente 0°, ya que las fachadas del edificio se encuentran en el Norte y Sur. Se distinguen las siguientes orientaciones:

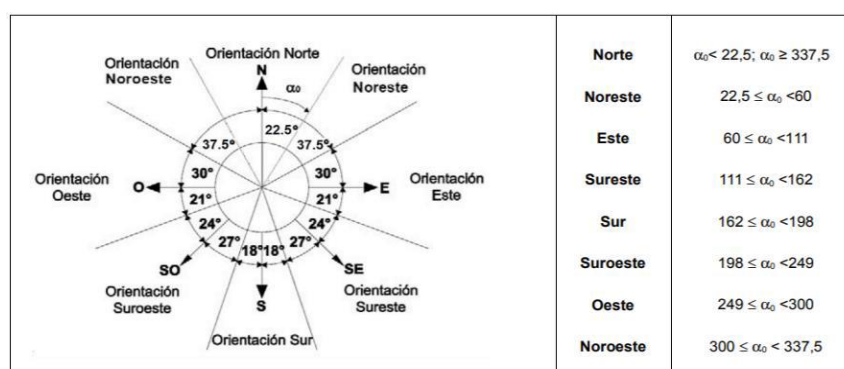


Ilustración 1. Orientaciones geográficas.

Conocidas las dimensiones de las superficies de estudio, se dispone a mostrar las características de estas superficies que afectan al estudio energético. En primer lugar, se muestra la transmitancia térmica de los

elementos. Se entiende por transmitancia térmica la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo por unidad de tiempo, sus unidades son $[W/m^2 \cdot K]$, y los valores son los siguientes:

Superficie	Transmitancia $[W/m^2 \cdot K]$
Muros	1.57
Cubierta	3.3
Suelos	2.47
Ventanas	5.7

Tabla 2. Transmitancias térmicas, edificio entremedianeras.

Los siguientes elementos que se describen son los puentes térmicos de la vivienda. Se entiende por puente térmico a elementos débiles energéticamente que se producen por discontinuidades constructivas o geométrica. Se definen mediante la transmitancia térmica lineal. La transmitancia térmica lineal es el flujo de calor por unidad de diferencia de temperatura y longitud transversal de puente térmico que atraviesa el cerramiento, adicional a los elementos de flanco tratados como unidimensionales. En el caso a estudio los puentes térmicos presentan una transmitancia térmica lineal de $308,82 W/m \cdot K$.

El factor solar (g) es la siguiente característica de la edificación que se describe. El factor solar está asociado a los mecanismos de transferencias por cerramientos semitransparentes, ya que el factor solar caracteriza la radiación incidente a través de un acristalamiento. El factor solar se define como el cociente entre la radiación solar 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. Es un valor adimensional y comprendido entre 0 y 1. El valor correspondiente es 0.72.

Para describir el edificio en su totalidad hay que definir el ACH de un edificio, entendiéndose este parámetro como el volumen de aire exterior que entra en la vivienda. Se definen ACH_{eq} como el número de veces en una hora que el volumen del espacio del edificio es renovado. En este caso se tiene un valor de $0,72 h^{-1}$. Por último, se muestra el valor de ACH_{noche} del edificio. Son renovaciones que se producen de forma forzada y mediante elementos mecánicos con el fin de disminuir la temperatura del edificio en las noches de verano. El valor es inicialmente de $4 h^{-1}$.

A continuación, se muestra una tabla que recoge todos los parámetros descritos anteriormente:

Parámetros	Valor	Unidades
Transmitancia	Muros	1.57
	Cubierta	3.3
	Suelos	2.47
	Ventana	5.7
Transmitancia lineal	308.82	$W/m \cdot K$
Factor solar	0.72	-

ACH_eq	0.72	h ⁻¹
ACH_noche	4	h ⁻¹

Tabla 3. Parámetros estremedianera Sur.

2.1.2. Evaluación inicial del edificio.

En este apartado se muestran los datos energéticos iniciales. Estos datos fueron obtenidos por el Grupo de Termotecnia del Departamento de Ingeniería Energética de la Universidad de Sevilla. Los datos fueron calculados mediante el software HULC, el cual realiza simulaciones dinámicas para dar como resultados las demandas de calefacción y refrigeración necesarias para llevar hasta las condiciones de confort térmico el edificio con las características constructivas que presenta inicialmente.

A continuación, se muestran gráficas que representan la demanda de calefacción y refrigeración anuales y mensuales del bloque entremedianeras. Estos resultados son calculados con unas condiciones de confort térmicas de 25°C en verano y 20 °C en invierno.

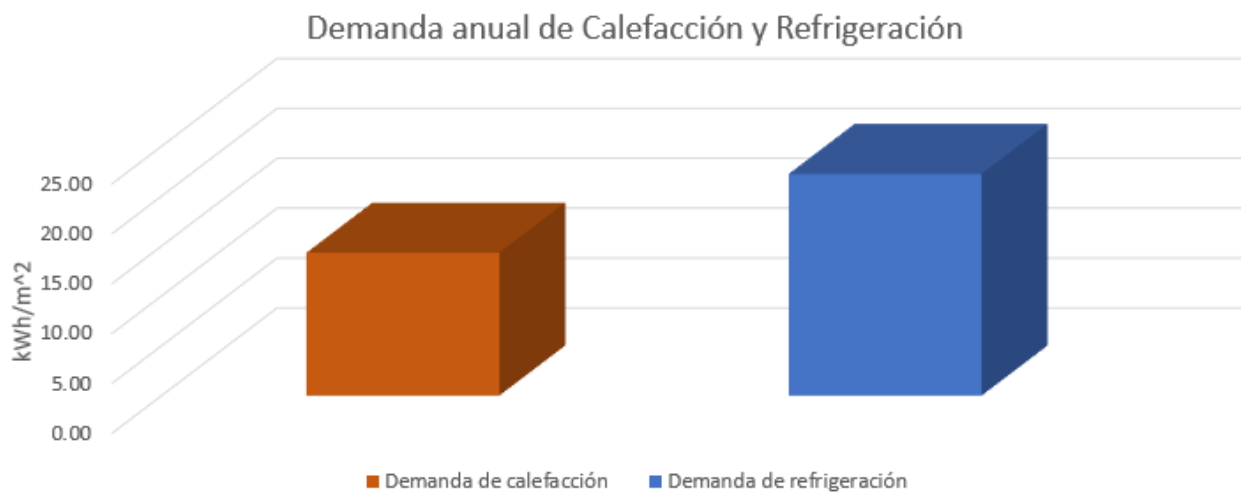


Ilustración 2. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima A4.

Las demandas mensuales de calefacción y refrigeración se muestran en la siguiente gráfica de forma conjunta.

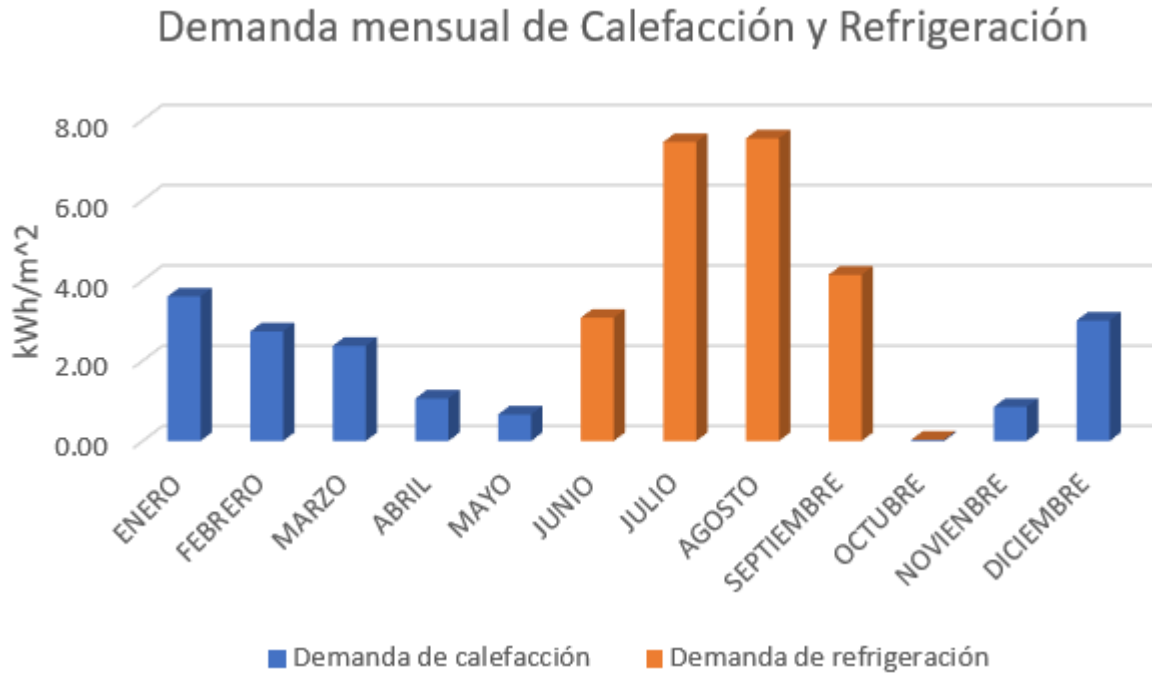


Ilustración 3. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima A4.

A continuación, se muestran una tabla resumen de los datos obtenidos:

	Demanda de calefacción kWh/m ²	Demanda de refrigeración kWh/m ²
ENERO	3.60	0.00
FEBRERO	2.73	0.00
MARZO	2.37	0.00
ABRIL	1.06	0.00
MAYO	0.66	0.00
JUNIO	0.00	3.07
JULIO	0.00	7.45
AGOSTO	0.00	7.54
SEPTIEMBRE	0.00	4.14
OCTUBRE	0.03	0.00
NOVIEMBRE	0.85	0.00
DICIEMBRE	3.00	0.00
TOTAL	14.31	22.21

Tabla 4. Demanda edificio entremedianeras Sur clima A4.

2.1.3. Procedimiento de cálculo simplificado.

Se procede a explicar los fundamentos de cálculo para obtener los datos anteriormente mostrados. En primer lugar, hay que definir los conceptos de demanda de calefacción y refrigeración. En invierno se define la demanda

de calefacción como las pérdidas menos las ganancias netas.

$$Demanda\ calefacción = Pérdidas - Ganancias\ Netas$$

Las pérdidas son las pérdidas por transmisión de espacios acondicionados al exterior, ya sea por puentes térmicos o tratamiento general y pérdidas debido a infiltraciones de aire del exterior. A continuación, se muestran las ecuaciones que caracterizan las pérdidas.

- Pérdidas por transmisión por efecto general:

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot GD \cdot 24$$

- Pérdidas por transmisión en puentes térmicos:

$$Q = \sum_{j=1}^m \Phi_j \cdot l_j \cdot GD \cdot 24$$

- Pérdidas debido a la entrada de aire exterior:

$$Q = \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \cdot GD \cdot 24$$

$$\rho_a \cdot c_{pa} = 0.33 \frac{Wh}{m^3 \cdot K}$$

- Siendo las pérdidas totales:

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \Phi_j \cdot l_j + \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot GD \cdot 24$$

Para completar de definir la demanda de calefacción tenemos que describir los procesos que provocan ganancias en el régimen de invierno, y más tarde definir el factor de utilización para entender las ganancias netas. Las ganancias se producen por la radiación solar y las ganancias internas que producen las personas y equipos que se encuentran en el interior del edificio.

- Las ganancias por radiación se describen.

$$Q = \sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i}$$

- Las ganancias por fuentes internas son:

$$Q = \bar{\varphi}_a \cdot A_a \cdot t$$

- Y las ganancias netas se definen como:

$$Q_{neto} = \left(\sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \bar{\varphi}_a \cdot A_a \cdot t \right) \cdot \eta$$

En esta última ecuación aparece el factor de utilización. Este parámetro se utiliza por el hecho de que las ganancias no siempre se utilizan para disminuir el efecto de las pérdidas. Este valor cuantifica las ganancias no útiles que se producen por la distribución horaria de las pérdidas y ganancias.

Por el contrario, en verano se produce un efecto opuesto al régimen de invierno, ya que en la demanda de refrigeración se define como las ganancias menos pérdidas.

$$Demanda\ refrigeración = Ganancias\ Netas - Pérdidas$$

Las ganancias de igual modo se producen por las ganancias debida a la radiación solar y fuentes internas, y las pérdidas son causadas por la ventilación sanitaria, transmisión a través de las superficies en contacto con el exterior y por último por las pérdidas netas por la ventilación nocturna. Hay que volver a señalar que esta renovación nocturna es independiente de la ventilación sanitaria y se produce de forma forzada por elementos mecánicos. A continuación, se muestran las fórmulas que definen el régimen de verano.

- Ganancias solares e internas:

$$Q = \sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \bar{\varphi}_a \cdot A_a \cdot t$$

- Pérdidas netas por ventilación nocturna:

$$Q = \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{noche} \cdot V \cdot GD \cdot 24 \cdot \eta \cdot \varepsilon$$

El parámetro η hace referencia a la eficiencia de la ventilación y ε al factor de utilización, entendido este de igual modo al descrito con anterioridad.

- Transmisión y ventilación sanitaria:

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \Phi_j \cdot l_j + \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot GD \cdot 24$$

A continuación, se explica la nomenclatura utilizada en las ecuaciones.

- $\rho_a =$ Densidad del aire.
- $C_a =$ Calor específico del aire
- $U =$ Transmitancia térmica.
- $\Phi =$ Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.
- $GD =$ Grados días mensuales.
- $I =$ Radiación incidente.
- $\bar{\varphi}_a =$ Valor promedio de las fuentes internas en espacios acondicionados (W).
- $t =$ Horas mensuales.
- $A_s =$ Área solar efectiva.
- $A_a =$ Área acondicionada.

En principio este término se desprecia para edificios residenciales debido a que los grados días del régimen de calefacción son valores cercanos a cero. Sin embargo, para edificios terciarios este valor toma más peso y por tanto es importante tenerlo en cuenta.

Con las ecuaciones anteriores se explica la base de los conceptos necesarios conocer para entender y calcular la demanda energética de un edificio. Estos parámetros descritos también nos sirven como criterio para decidir que modificaciones hay que realizar en un edificio. Por ello lo descrito anteriormente es fundamental para elegir la mejora óptima que se aplicará al edificio. Por ejemplo, el hecho de cuantificar las pérdidas debido a la transmisión de calor por las superficies de una vivienda en régimen de calefacción nos permite diseñar la transmitancia óptima de las superficies para disminuir las pérdidas de la forma más económica posible. Este razonamiento es aplicable a todos los procedimientos anteriores. La limitación de estas ecuaciones reside en las hipótesis que se realizan para enunciarlas, por ellos se recurre a unos parámetros correctores para corregirlas y que reflejen la realidad de la forma más exacta. Las principales hipótesis que desvalida las ecuaciones son la suposición de la temperatura del edificio constante para calcular los grados días y la caracterización simplificada del comportamiento de la radiación del edificio.

Los parámetros correctores se obtienen calibrando el modelo simplificado con el detallado (HULL). Calibrar consiste en hacer coincidir los meses de mayor demanda del procedimiento simplificado y detallado.

Las ecuaciones resultantes después de aplicar los parámetros correctores son:

$$Q_{cal} = \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \rho_a \cdot C_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot a_{inv} - \left(\sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{ne} A_{s,j,i} \cdot b_{inv} + \phi_a \cdot t \right) \cdot \eta$$

$$Q_{ref} = \sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{ne} A_{s,j,i} \cdot b_{ver} + \phi_a \cdot t + \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \rho_a \cdot C_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot a_{ver} - P_{noche} \cdot \eta \cdot \varepsilon$$

Los factores correctores para el caso que se expone son:

Factores corrección	
a_inv	0.44
b_inv	0.04
a_ver	0.29
b_ver	0.35

Tabla 5. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima A4.

A continuación, se muestra un gráfico donde se aprecia la comparativa de los datos de demanda mensual del edificio real y los datos calculados mediante el procedimiento simplificado, aplicando los parámetros correctores. Se puede observar con el procedimiento simplificado tiene validez para el estudio en cuestión, aunque supone un porcentaje de error asumible. Una vez seleccionado el caso óptimo o conjunto de puntos de interés debería verificarse de forma detallada en programas como HULL si es una medida a implementar en un edificio real (pero esto no es el estudio en cuestión). Las demandas se expresan en KWh/m²·año.

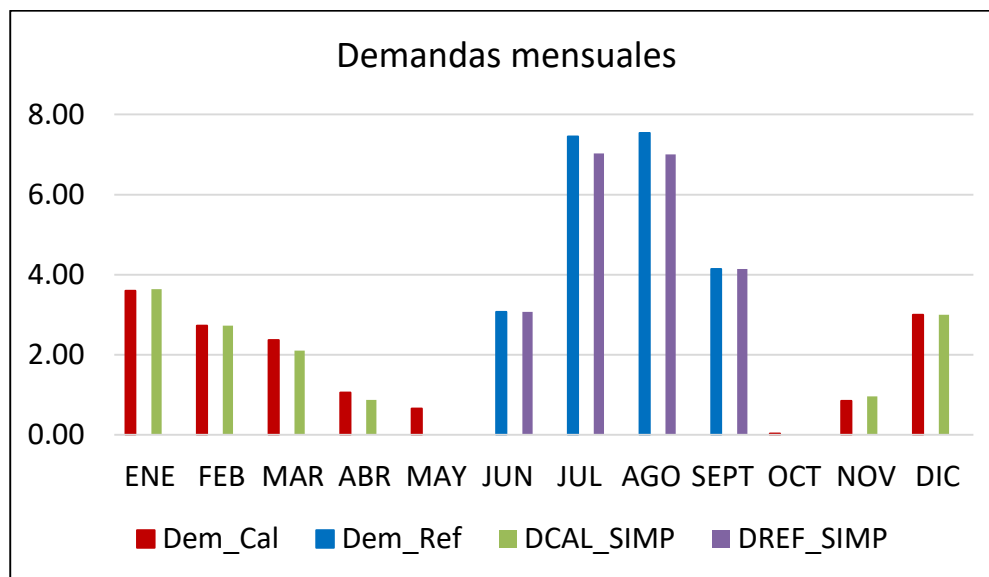


Ilustración 4. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima A4.

2.1.4. Cumplimiento de la normativa.

A continuación, se muestra el análisis comparativo entre la situación inicial del edificio y las exigencias del HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía. Esta sección detalla las condiciones para el control de la demanda energética. El control de la demanda se realiza mediante unas exigencias sobre la envolvente térmica de forma que se limiten las necesidades de energía primaria para alcanzar el bienestar térmico.

En primer lugar, se muestran las exigencias respecto a las transmitancias térmicas de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica.

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			

Tabla 6. Valores límites de transmitancia térmica.

En la tabla anterior se muestran los valores de transmitancia asociados a la zona climática en cuestión. Los valores anteriores son de obligado cumplimiento para cada elemento de la envolvente, pero también se debe satisfacer que la transmitancia térmica global cumpla un valor de K_{lim} impuesto en la sección HE1.

Antes de mostrar el valor de K_{lim} es conveniente aclarar los siguientes términos:

- $U_m \rightarrow$ Es la transmitancia de la envuelta. Entendiendo por envuelta a muros, suelo, cubierta y ventanas. Se calcula con la siguiente expresión:

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i}{A_{total}}$$

- $K \rightarrow$ Es la transmitancia que incluye a U_m y el efecto de los puentes térmicos se calcula con la siguiente expresión:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \Phi_j \cdot l_j}{A_{total}}$$

Conocido el concepto de K como la envolvente global, se dispone a mostrar el valor límite que se debe cumplir.

El valor se determina según tres factores: la zona climática, la compacidad y según el tipo de actuación en el edificio. Para el caso tenemos una zona climática A. Se trata de una reforma en el edificio y la compacidad es de 3.33 [m³/m²]. Interpolando obtenemos una K_{lim} de 0.92 W/m²K.

	Compacidad V/A [m ³ /m ²]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Tabla 7. Valor límite de K_{lim} para uso residencial privado.

El control solar también está limitado para reformas del más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio. Para el caso en cuestión el edificio tiene que cumplir la siguiente especificación.

Uso	q _{sol;jul}
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Tabla 8. Valor límite del parámetro del control solar.

El parámetro de q_{sol;jul} se calcula como se muestra a continuación.

$$q_{sol;jul} = \frac{ASSE_{julio}}{Area_{acond}} \cdot Isur \cdot bver$$

Las limitaciones anteriores están asociada a la demanda del edificio, pero el DB-HE también recoge unas limitaciones referidas al consumo del edificio. Entendiendo el consumo como la demanda del edificio entre el rendimiento de los equipos y sistemas que proporcionan la energía requerida. Las limitaciones hacen referencia al consumo de energía total del edificio y al consumo cubierto por energías primarias no renovables.

El valor de consumo de energía primaria no renovable no debe superar el valor:

Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m ² ·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

Tabla 9. Valor límite de $C_{ep,nren,lim}$ para uso residencial privado.

Para el uso residencial el consumo de energía total también se encuentra limitado según la siguiente tabla.

Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m ² ·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

Tabla 10. Valor límite de $C_{ep,total,lim}$ para uso residencial privado.

2.1.5. Propuestas de mejoras.

Anteriormente, se han definidos los parámetros iniciales del edificio, ahora se expondrán los conjuntos de mejoras que se pretenden hacer y los criterios para plantearlas. El objetivo es reducir la demanda de calefacción y refrigeración para así poder reducir los consumos de energía total y energía no renovable.

Mejora de la envuelta.

La primera mejora que se propone es mejorar la envuelta del edificio, entendiendo por envuelta el suelo, muro, cubierta y ventanas. Las ventanas serán sustituidas por otras más eficientes y al resto de componente se le disminuirá la conductividad térmica mediante la sustitución del material y/o el uso de aislante.

En la tabla siguiente se muestran la situación inicial, los valores mínimos para el cumplimiento de la normativa, valores recomendados y valores de alta eficiencia. Los valores recomendados y de alta eficiencia para este clima y los climas que se expondrán después han sido aportados por el Departamento de Termotecnia de la Universidad de Sevilla. A las mejoras anteriores se añade una que es la que se denomina K lim, esta mejora hace referencia a un valor comprendido entre la mejora recomendada y la de alta eficiencia, este es el valor que cumple estrictamente las exigencias del HE1, es decir, los valores de transmitancias que deben tener los diferentes parámetros constructivos para que el coeficiente global de la envuelta sea el K límite impuesto por el reglamento.

	Muros	Cubiertas	Suelos	Ventanas
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70
Mínimo	0.70	0.50	0.70	3.60
Recomendado	0.5	0.37	0.54	3.1
Alta eficiencia	0.30	0.23	0.37	2.60
K lim	0.41	0.31	0.47	2.88

Tabla 11. Mejoras de la envuelta. Bloque entremedianeras, clima A4.

Mejora de los puentes térmicos.

La siguiente propuesta de mejora se hace en los puentes térmicos. Se proponen tres casos, el inicial, el escenario de mejora 1 y escenario de mejora 2. Los escenarios 1 y 2 son propuestos por el Departamento de termotecnia de la Universidad de Sevilla.

Puentes térmicos				
Tipo	Longitud	Transmisión lineal		
		TTL_base	TTL_mejora 1	TTL_mejora 2
frente forjado	143	0.93	0.2	0.2
unión cubierta	87.85	0.46	0.20	0.20
esquina convexa forjado	24.85	0.25	0.2	0.2
pilar	1.00	0.91	0.20	0.20
unión solera pared	34.5	0	0.15	0.15
huevo ventana	397.80	0.32	0.10	0.05
$\sum_{j=1}^m \phi_j \cdot l_j$	-	307.82	96.30	76.41
$\frac{\sum_{j=1}^m \phi_j \cdot l_j}{A_{total}}$	-	0.31	0.10	0.08

Tabla 12. Mejoras puentes térmicos. Bloque entremedianeras.

Mejora de la ventilación nocturna.

Otra mejora es aumentar el ACH_{noc} del edificio. Esta ventilación es forzada y no se debe confundir con la ventilación sanitaria, por tanto, para aumentar el ACH_{noc} del edificio se necesitan introducir elementos mecánicos. En la siguiente tabla se muestran las renovaciones por hora de ACH_{noc} en el caso inicial y dos mejoras que se proponen.

	Inicial	Mejora 1	Mejora 2
ACH_{noc}	4 ren/h ⁻¹	10 ren/h ⁻¹	15 ren/h ⁻¹

Tabla 13. Mejoras ACH noche.

Mejora del control solar.

Esta mejora tiene como objetivo reducir el control solar del edificio colocando elementos tales como persianas o lamas. El edificio en principio no cumple con lo impuesto en la normativa, por ello el control solar se debe disminuir. Se proponen dos valores, el primero, disminuir el control solar hasta el valor que cumple la normativa, y el segundo, un valor inferior, que se podría llamar de alta eficiencia.

	Inicial	Límite	Alta eficiencia
g	0.68	0.18	0.10

Tabla 14. Mejoras control solar. Bloque entremedianeras.

Mejora de la estanqueidad.

Para la estanqueidad del edificio se propone una mejora que reduce el $ACH_{equivalente}$ desde el valor de 0.72 h^{-1} hasta 0.63 h^{-1} . Esta mejora implica el cumplimiento del n50 reglamentario establecido en el DB-HE1.

Resumen de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a aplicar al bloque entremedianeras. En total se realizan 270 combinaciones de mejoras.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{cubiertas}$ [W/m ² ·K]	U_{selos} [W/m ² ·K]	$U_{ventanas}$ [W/m ² ·K]	$\Phi-L$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$ACH_{eq,noc}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.68	4.00
Mínimo	0.70	0.50	0.70	3.60	96.30	0.68	0.18	10.00
Recomendado	0.50	0.37	0.54	3.10	76.41	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.30	0.23	0.37	2.60	-	-	-	-
K lim	0.41	0.31	0.47	2.88	-	-	-	-

Tabla 15. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima A4.

2.1.6. Análisis del Coste del Ciclo de Vida.

En este apartado se realiza un análisis económico de las mejoras que se han propuesto anteriormente. Para estudiar el efecto económico de cada mejora definimos el parámetro de Coste del Ciclo de Vida.

El Coste del Ciclo de Vida (CCV) es el coste total del edificio, durante toda su vida, desde que se construye hasta que se demuele. El coste total de un edificio es la suma del coste de edificación y el coste de operación.

El coste de edificación es la suma de los costes de la envolvente y de los sistemas de acondicionamiento. De la envolvente en este caso solo interesa el coste asociado a las mejoras, a esto se le denomina sobrecoste. El coste de los sistemas de acondicionamiento de la situación inicial.

Por otro lado, el coste de operación es el coste de los consumos energéticos de los sistemas de acondicionamiento durante toda la vida útil del edificio.

Ya se ha explicado el concepto de CCV, a continuación, se expone como calcularlo. El CCV es la suma de los costes energéticos y edificación de cada año de la vida útil. Para realizar una suma de costes en años diferentes hay que tener en cuenta la variación del valor del dinero con el paso del tiempo. El cálculo de CCV se realiza mediante el cálculo del Valor Presente. Este concepto se define como la cantidad monetaria que hay que reservar en el momento de la inversión para afrontar todos los costes iniciales y de operación durante toda la vida útil. En el cálculo del VP se tiene en cuenta la inflación del dinero y la tasa de descuento, y para el caso en cuestión, se supone una duración del ciclo de vida de 30 años.

El VP se calcula de la siguiente manera:

$$VP(C, i, inf, k) = \sum_{k=1}^N \frac{C_k \cdot (1 + inf)^k}{(1 + i)^k}$$

También se puede escribir como:

$$VP(C, ief, k) = \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{(1 + ief)^k}$$

Siendo:

$$(1 + ief) = \frac{1 + i}{1 + inf}$$

Para el caso en cuestión se definen los siguientes parámetros.

- Inflación de productos energéticos del 2%
- Tasa de descuento del 7%
- Duración del ciclo de vida 30 años.
- Vida útil de elementos de la envuelta de 30 años y vida útil de las instalaciones de 15 años.

La ecuación del valor presente de CCV es:

$$CCV = Sobrecostes + C_{operación} \sum_{k=1}^{30} \frac{1}{(1 + 0.037)^k}$$

Ahora tenemos que calcular los sobrecostes y costes de operación

Sobrecostes.

En este apartado se procede a determinar los sobre costes asociados a reducción de transmitancia de los cerramientos opacos, a la mejora de las ventanas, mejora de los puentes térmicos, mejora de la ventilación/estanqueidad y a la mejora de la ventilación nocturna.

En primer lugar, los sobrecostes asociados a los cerramientos se calculan como el coste de añadir aislante. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Sobrecoste (\text{€}) = \left(a \cdot \left(\frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_i} \right) + b \right) \cdot A_{\text{cerramiento}}$$

Donde a y b tienen los siguientes valores dependiendo del tipo de cerramiento:

	a	b
Muros	2.7325	2.004
Cubierta	1.7019	1.948
Suelo	4.135	2.38

Tabla 16. Valores a y b para el cálculo de sobrecostes.

Los sobrecostes asociados a los puentes térmicos son los costes asociados a la reducción de la transmitancia lineal de los contornos de los huecos principalmente. En el capítulo anterior se habían definido dos escenarios de mejoras. Para el escenario de mejora 1 el coste asociado es 6€/m lineal. Y para el escenario de mejora 2 el coste asociado es de 7 €/m lineal.

A continuación, se especifican los sobre costes asociados a las ventanas. Se consideran doce ventanas (acristalamiento y marco) empleadas usualmente en el territorio nacional. Para la utilización de otro tipo de ventana se debe interpolar entre los valores de la siguiente tabla:

U ventana	g ventana	Precio ventana (€/m²)
5.7	0.83	182.00
4.46	0.79	196.27
3.49	0.76	211.55
2.73	0.72	228.26
2.13	0.69	246.15
1.67	0.65	265.46
1.30	0.62	286.27
1.20	0.61	331.03
1.10	0.60	373.23

1	0.59	415.43
0.90	0.58	457.63
0.80	0.57	499.83

Tabla 17. Sobrecostes de ventanas.

Para la disminución del control solar se utilizarán toldos. Los toldos suponen un sobrecoste de 90€/m² de ventana.

La mejora de la ventilación nocturna supone unos sobre costes de 8€/m² de ventana para ACH de 10h⁻¹ y un coste de 12€/m² de ventana para un ACH de 15h⁻¹.

Por último, el sobrecoste asociado a la mejora de estanquidad/ventilación supone 60€/m² de ventana.

Con las especificaciones anteriores ya podemos calcular el sobre coste inicial que supone cualquier mejora que se realice sobre el caso base. Ahora se calculará el coste asociado a la energía. El coste del ciclo de vida es la suma de ambos costes. Por ejemplo, el caso inicial tiene un coste inicial nulo pero su consumo es muy alto y por tanto su coste de operación también es alto.

Coste de operación.

Para el caso que se expone los consumos finales que se deben satisfacer son los de calefacción, refrigeración y ACS. El consumo se define como la demanda entre el rendimiento de los equipos. Los rendimientos de los respectivos equipos para satisfacer las respectivas demandas son los siguientes:

Rendimiento Calefacción	Rendimiento Refrigeración	Rendimiento ACS
0.955	2.52	0.955

Tabla 18. Rendimientos de los equipos.

Calculados los consumos, los costes de operación son el consumo multiplicado por el precio de la energía utilizada para cada equipo. Se utilizará gas natural para calefacción y ACS, y electricidad para satisfacer la demanda de refrigeración. Los costes de la energía que se han tomado son los siguientes.

	Costes energía [€/kWh]
Gas Natural	0.068
Electricidad	0.209

Tabla 19. Coste de la energía.

2.1.7. Selección óptima de la mejora.

Ahora se procede a seleccionar la mejora óptima. La mejora óptima será aquella que cumpliendo con la reglamentación presente el menor CCV. Para ello representaremos en una tabla el CCV frente al consumo de energía primaria total y el consumo de energía primaria no renovable. Para calcular los consumos de energía primaria hay que aplicar unos factores para pasar de consumo final a consumo de energía primaria. Los factores aplicar son los siguientes:

	Coeficiente Calefacción	Coeficiente refrigeración	Coeficiente ACS
$\frac{\text{Energía primaria total}}{\text{Energía final}}$	1.195	2.368	1.195
$\frac{\text{Energía primaria no renovable}}{\text{Energía final}}$	1.19	1.195	1.19

Tabla 20. Factores de conversión de energía final a energía primaria.

Calculando los consumos de energía primaria y costes de ciclo de vida de las distintas mejoras optemos las siguientes gráficas. En este proyecto, en todas las gráficas que se comparan energía primaria frente a Coste del Ciclo de Vida se siguen los siguientes criterios.

1. Los puntos en gris corresponden a mejoras que cumplen los requisitos del DB-HE1.
2. Los puntos en azul son mejoras que no cumplen con la normativa de DB-HE1.
3. El punto rojo es la situación inicial del edificio, antes de que se someta a ninguna mejora.
4. El punto amarillo es la mejora óptima, es decir el punto que presenta menor CCV entre aquellos que cumplen las especificaciones del código técnico.

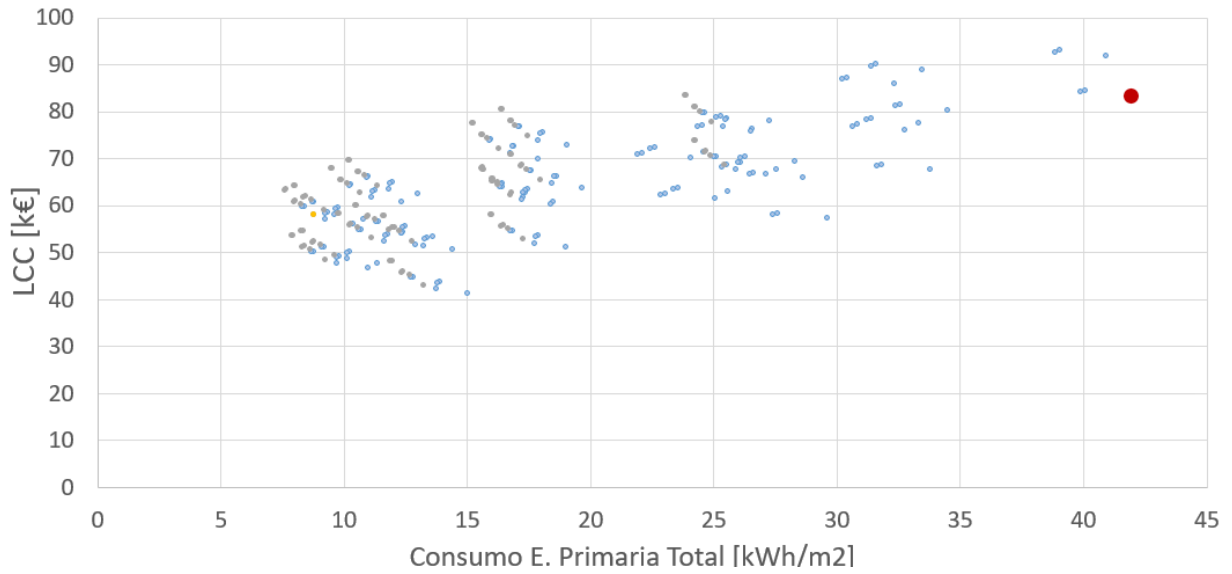


Ilustración 5. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima A4.

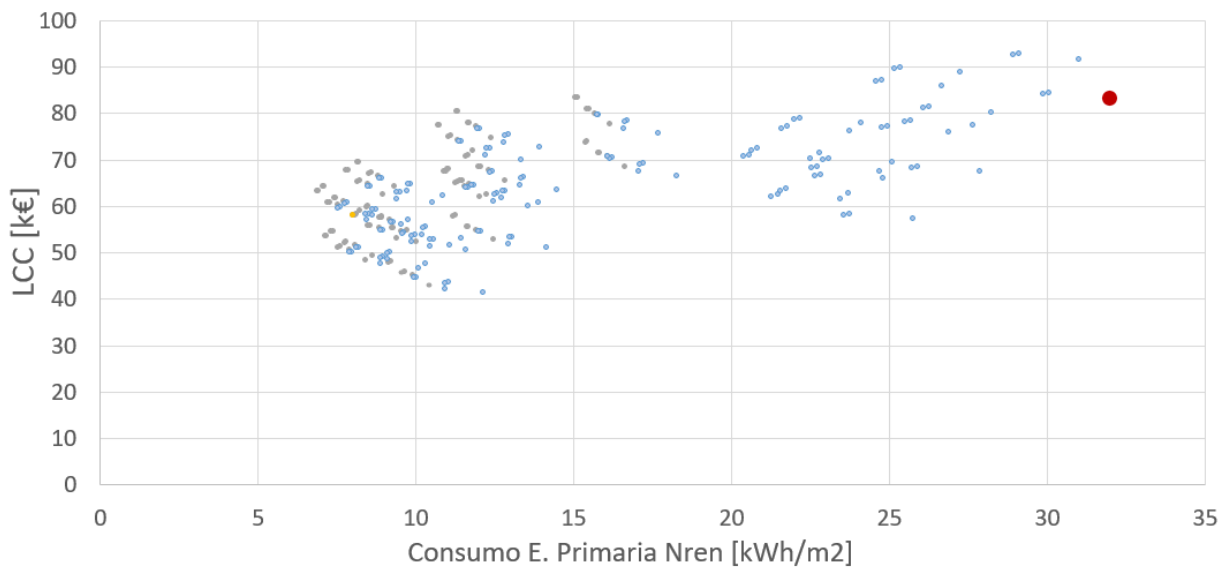


Ilustración 6. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima A4.

A continuación se muestra la mejora óptima para el bloque entremedianeras Sur en el clima A4.

Caso	234
U muros	0.41
U cubiertas	0.31
U suelos	0.47
U ventanas	2.88
Phi-L	307.82
ACH eq	0.63
g inv	0.68
g ver	0.10
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	1.55 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	1.60 (KWh/m ² ·año)

Tabla 21. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima A4.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora K límite, es decir, las transmitancias térmicas de los elementos son las necesarias para cumplir estrictamente el valor de K límite impuesto en el HE1. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantiene el valor inicial del edificio, no es necesario instalar elementos constructivos en las ventanas para disminuir este valor. El factor solar es el valor de alta eficacia, este es menor al exigido por la normativa. El valor de ACH equivalente es prácticamente el exigido por la normativa para las Passivhause. Por último, la ventilación nocturna toma el valor mayor posible, siendo rentable la utilización de elementos mecánicos para ventilar el edificio por la noche.

2.2. Bloque entremedianeras Sur. Zona climática B4.

En este apartado se realizará el estudio del bloque entre medianeras Sur de similares características a las descritas anteriormente, pero situado en la zona climática B4. El procedimiento de cálculo es igual al realizado en la zona climática A4, por ello en este capítulo solo se van a mostrar los resultados obtenidos para hallar la mejora óptima. En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio. Después se realizarán las mejoras utilizando el procedimiento simplificado y se seleccionará la mejora óptima. Para el procedimiento simplificado se utilizarán los parámetros correctores que se ajustan a la demanda inicial.

2.2.1. Evaluación inicial del edificio.

A continuación, se muestra la demanda inicial del edificio, en oscilación libre. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

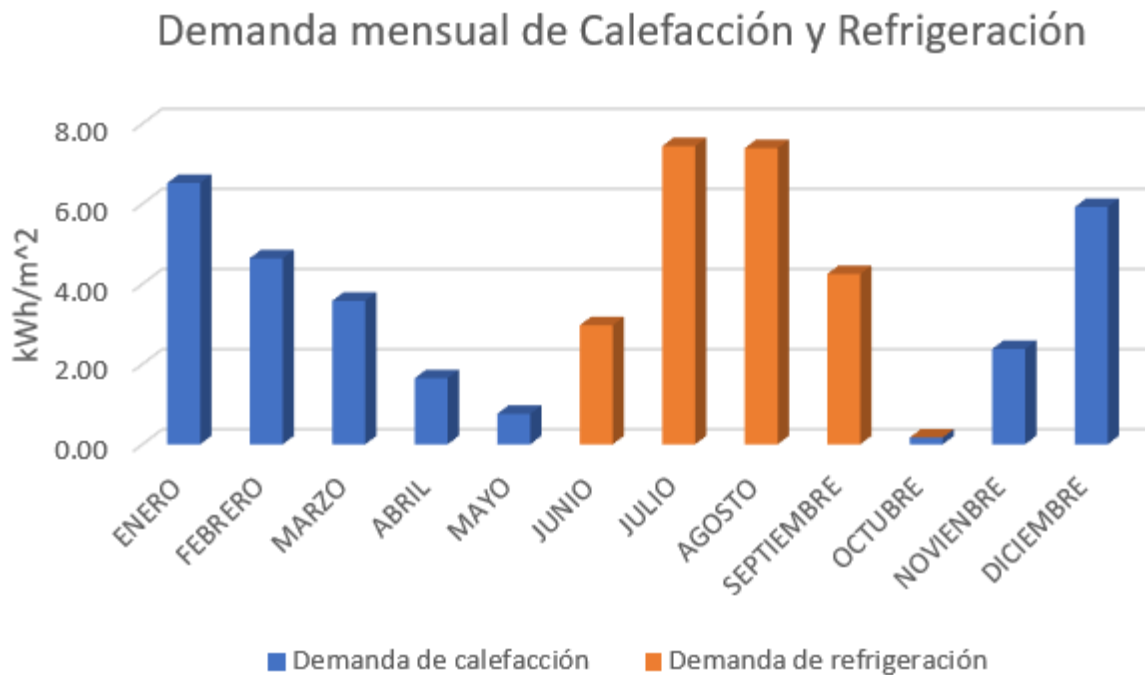


Ilustración 7. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima B4.

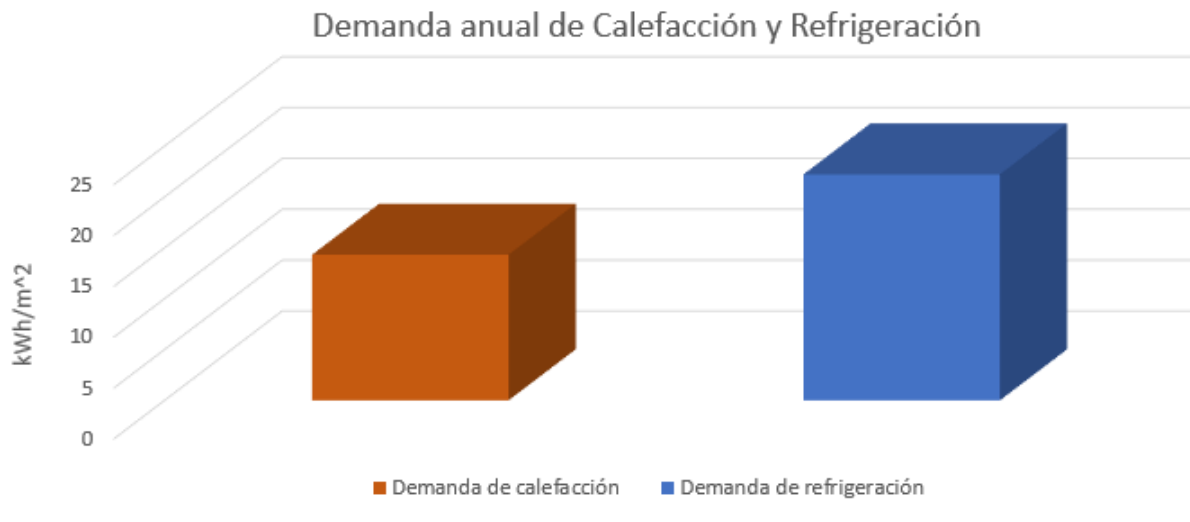


Ilustración 8. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima B4.

2.2.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente. Para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en kWh/m²·año.

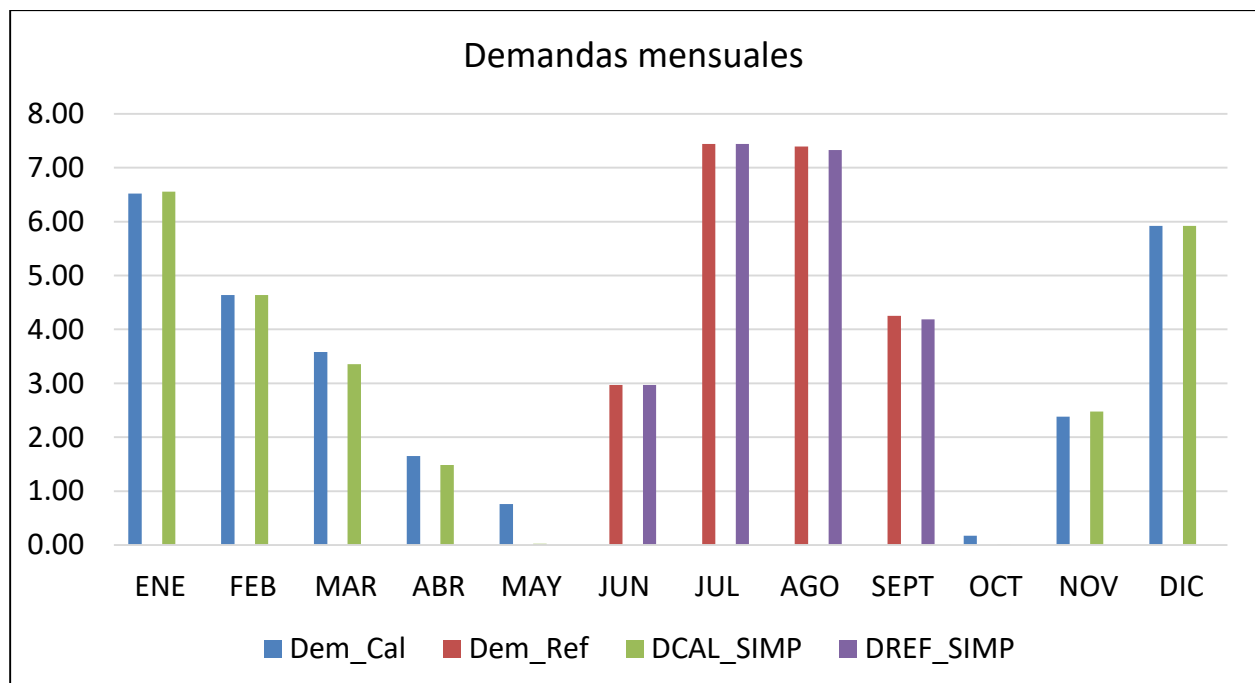


Ilustración 9. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima B4.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.59
b_inv	0.32
a_ver	0.35
b_ver	0.38

Tabla 22. Factores correctores. Bloque entremedianeras, clima B4.

2.2.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi \cdot L$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$ACH_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.68	4.00
Mínimo	0.56	0.44	0.56	3.10	96.30	0.63	0.18	10.00
Recomendado	0.42	0.33	0.44	2.60	76.41	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.27	0.21	0.32	2.10	-	-	-	-
K lim	0.42	0.33	0.44	2.51	-	-	-	-

Tabla 23. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima B4.

2.2.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

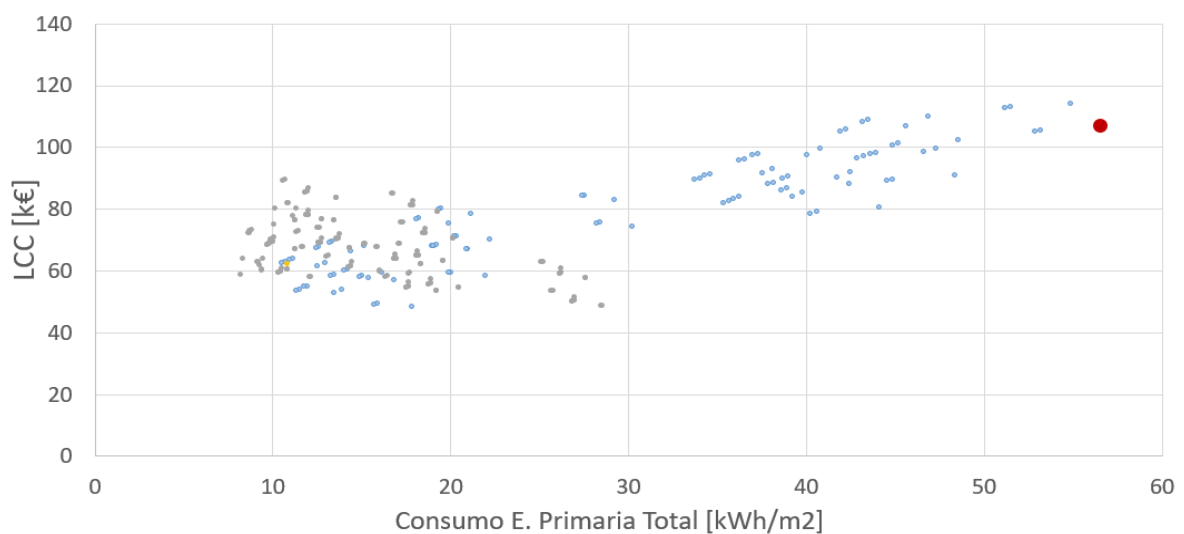


Ilustración 10. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima B4.

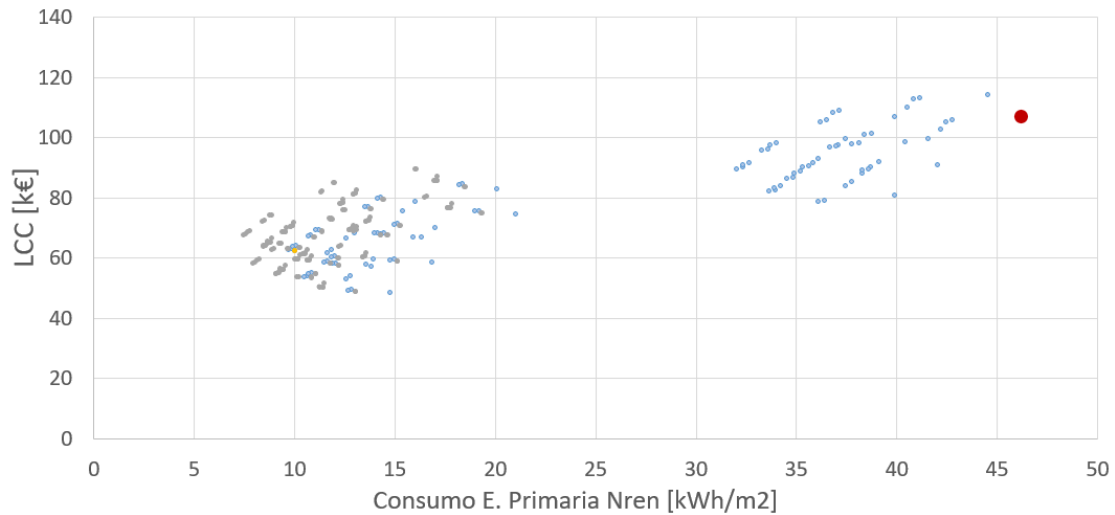


Ilustración 11. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima B4.

De la gráfica se observa que la mejora óptima, es decir, que cumple la reglamentación y presenta menor CCV, es:

Caso	234
U muros	0.42
U cubiertas	0.33
U suelos	0.44
U ventanas	2.61
Phi-L	307.82
ACH eq	0.63
g inv	0.68
g ver	0.10
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	3.15 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	1.63 (KWh/m ² ·año)

Tabla 24. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima B4.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora K límite, es decir, las transmitancias térmicas de los elementos son las necesarias para cumplir estrictamente el valor de K límite impuesto en el HE1. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantiene el valor inicial del edificio, no es necesario instalar elementos constructivos en las ventanas para disminuir este valor. El valor de ACH equivalente es prácticamente el exigido para Passivhouse. El factor solar es el valor de alta eficiencia. Por último, la ventilación nocturna toma el valor mayor posible, siendo rentable la utilización de elementos mecánicos para ventilar el edificio por la noche.

2.3. Bloque entremedianeras Sur. Zona climática C3.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el clima anterior se realizará el estudio del bloque entre medianeras Sur de similares características a las descritas anteriormente, pero situado en la zona climática C3. El procedimiento de cálculo es igual al realizado en la zona climática A4, por ello en este capítulo solo se van a mostrar los resultados obtenidos para hallar la mejora óptima. En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio. Después se realizarán las mejoras utilizando el procedimiento simplificado y se seleccionará la mejora óptima. Para el procedimiento simplificado se utilizarán los parámetros correctores que se ajustan a la demanda inicial.

2.3.1. Evaluación inicial del edificio.

En las gráficas que se muestran a continuación se cuantifica la demanda de calefacción y refrigeración de el dijo en cuestión. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

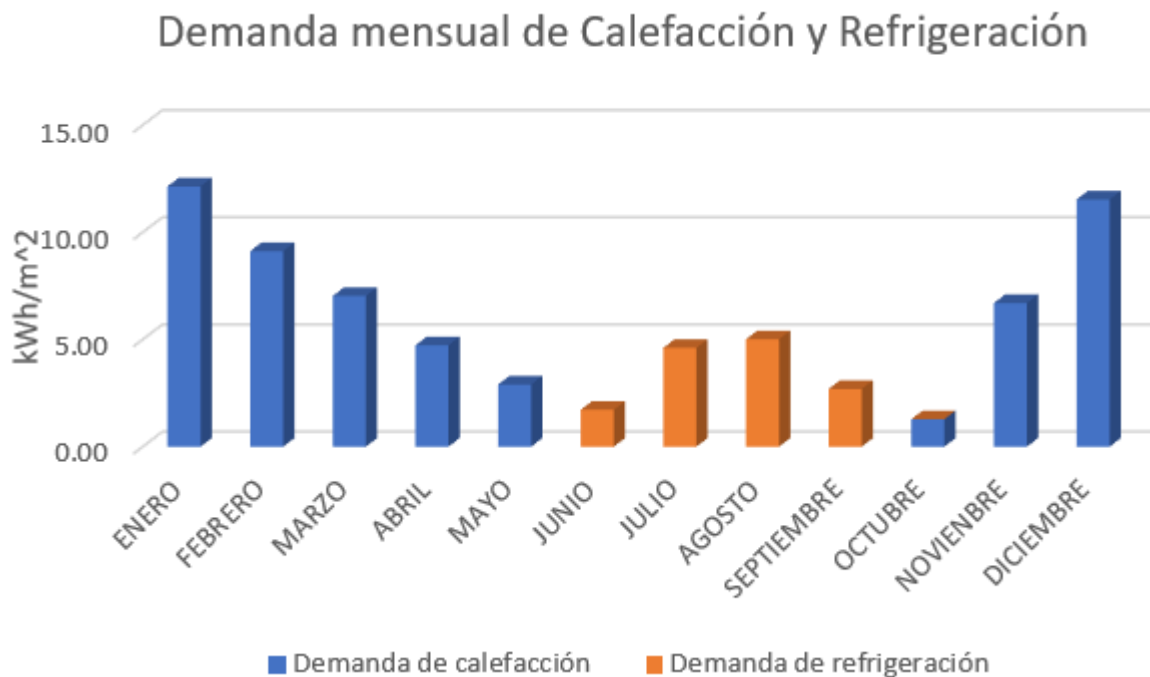


Ilustración 12. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima C3.

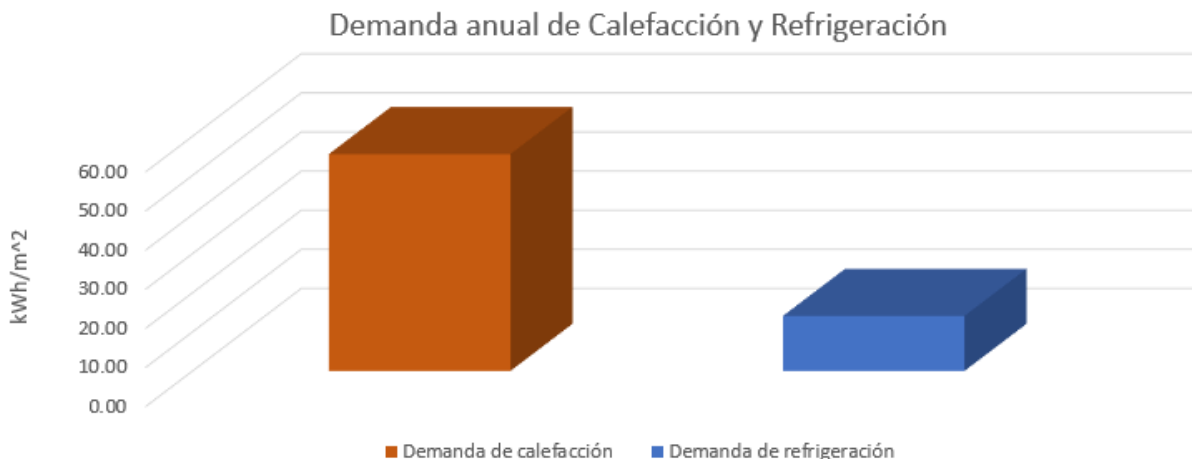


Ilustración 13. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima C3.

2.3.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Se procede a la evaluación de la mejoras mediante el procedimiento descrito anteriormente. para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²-año.

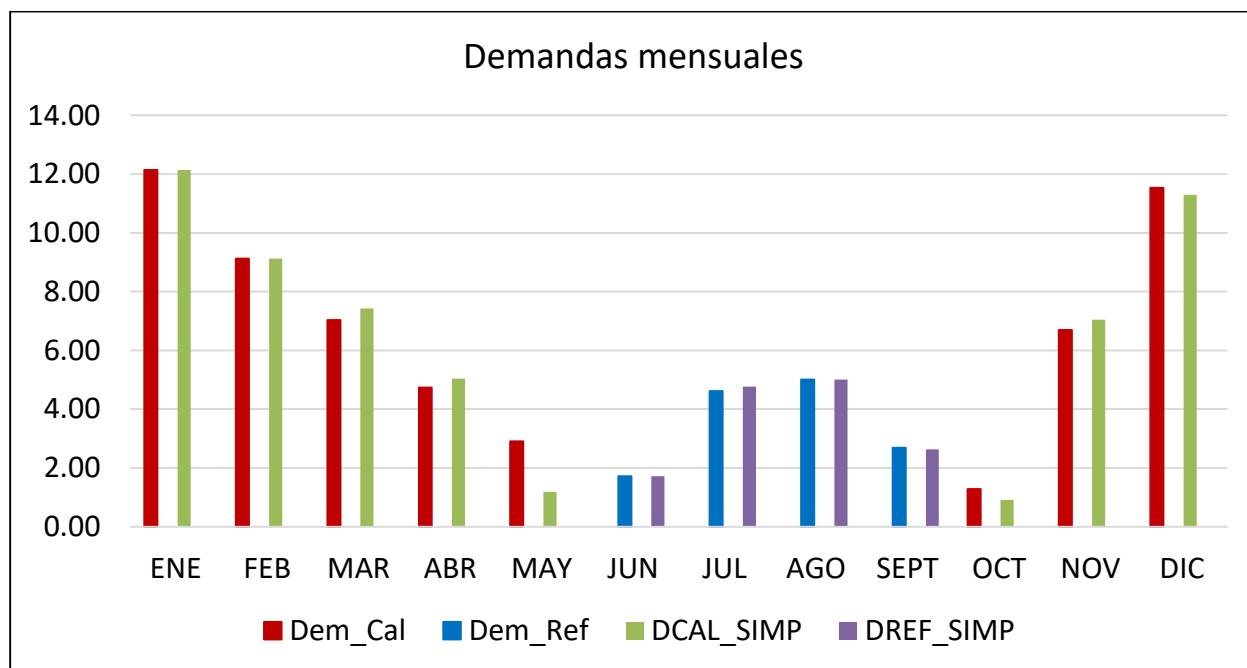


Ilustración 14. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima C3.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.66
b_inv	0.39
a_ver	0.26
b_ver	0.33

Tabla 25. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima C3.

2.3.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U _{muros} [W/m ² ·K]	U _{cubiertas} [W/m ² ·K]	Usuelos [W/m ² ·K]	Uventanas [W/m ² ·K]	Phi-L [W/m·K]	ACH _{eq} [h ⁻¹]	g	ACH _{eq,noc} [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.68	4.00
Mínimo	0.49	0.40	0.49	2.60	96.30	0.63	0.18	10.00
Recomendado	0.34	0.28	0.36	2.20	76.41	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.22	1.80	-	-	-	-
K lim	0.37	0.31	0.39	2.29	-	-	-	-

Tabla 26. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima C3.

2.3.4. Selección óptima de la mejora.

En las gráficas que a continuación se exponen se muestran los resultados de CCV calculado para cada una de las mejoras que se ha propuesto.

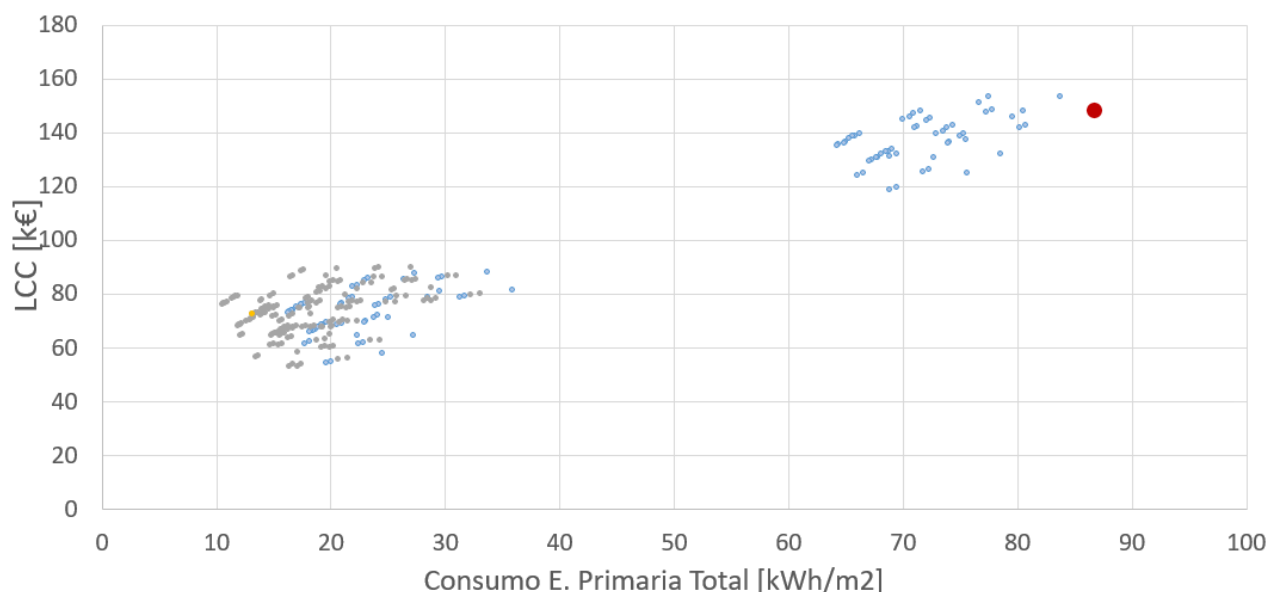


Ilustración 15. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras. clima C3.

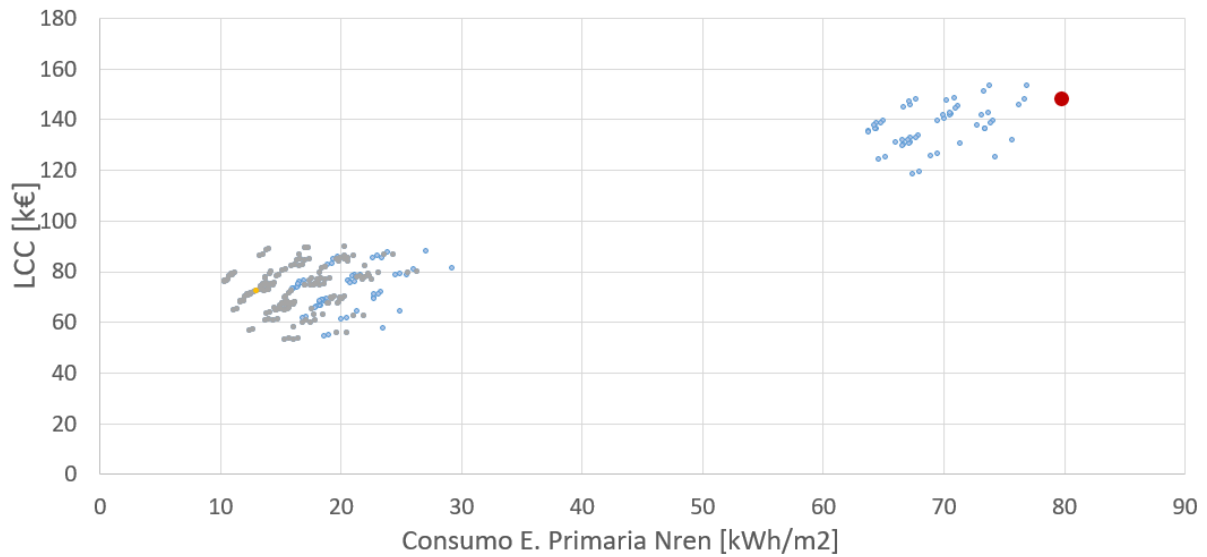


Ilustración 16. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima C3.

En la tabla siguiente se muestran un resumen de la mejora escogida. Esta mejora pertenece al paquete de medidas de mejoras recomendadas.

Caso	162
U muros	0.34
U cubiertas	0.28
U suelos	0.36
U ventanas	2.20
Phi-L	76.41
ACH eq	0.63
g inv	0.68
g ver	0.10
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	5.73 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	0.33 (KWh/m ² ·año)

Tabla 27. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima C3.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se produce una reforma en los puentes térmico, se utilizan valores inferiores de transmitancia térmica lineal. El valor de ACH equivalente se utiliza prácticamente el valor establecido para las Passivhouse El factor solar es menor al exigido por el DB-HE, el valor de alta eficiencia. Por último, la ventilación nocturna toma el valor mayor posible, siendo rentable la utilización de elementos mecánicos para ventilar el edificio por la noche.

2.4. Bloque entremedianeras Sur. Zona climática D3.

En este apartado se estudiará el bloque entremedianeras Sur de similares características a las descritas anteriormente pero situado en la zona climática D3. El procedimiento de cálculo es igual al realizado en la zona climática A4, por ello en este capítulo solo se van a mostrar los resultados obtenidos para hallar la mejora óptima. En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio. Después se realizarán las mejoras utilizando el procedimiento simplificado y se seleccionará la mejora óptima. Para el procedimiento simplificado se utilizarán los parámetros correctores que se ajustan a la demanda inicial.

2.4.1. Evaluación inicial del edificio.

En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio, en oscilación libre. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

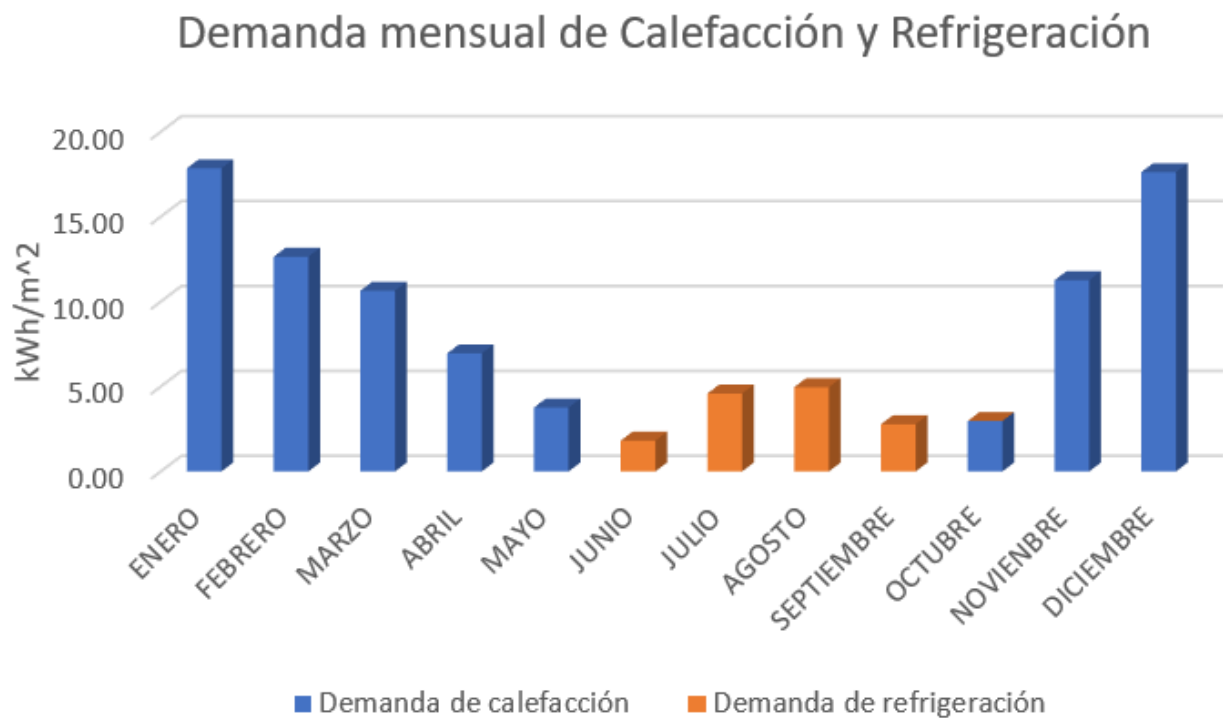


Ilustración 17. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima D3.

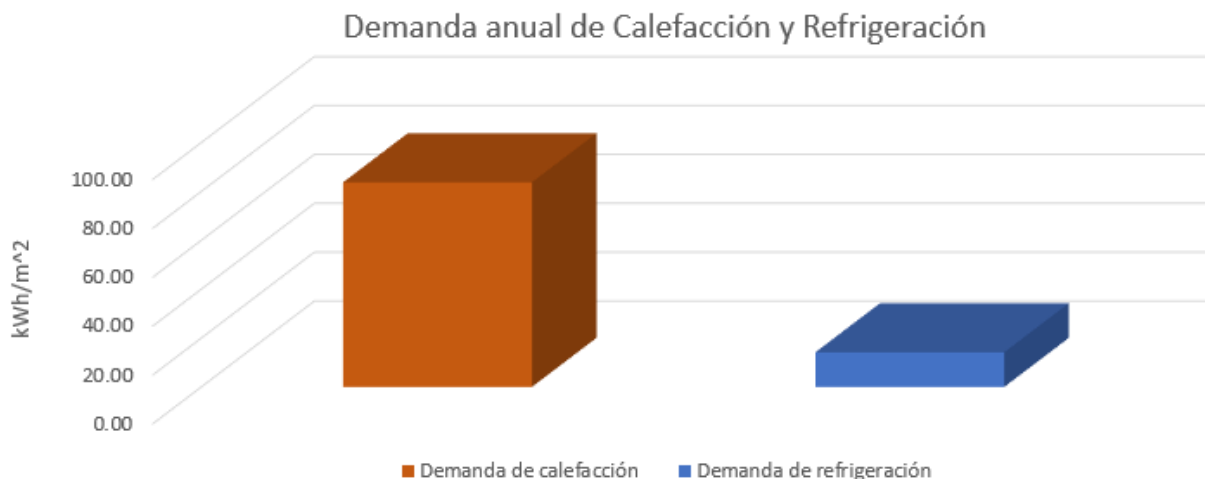


Ilustración 18. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima D3.

2.4.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Con objeto de evaluar las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en kWh/m²-año.

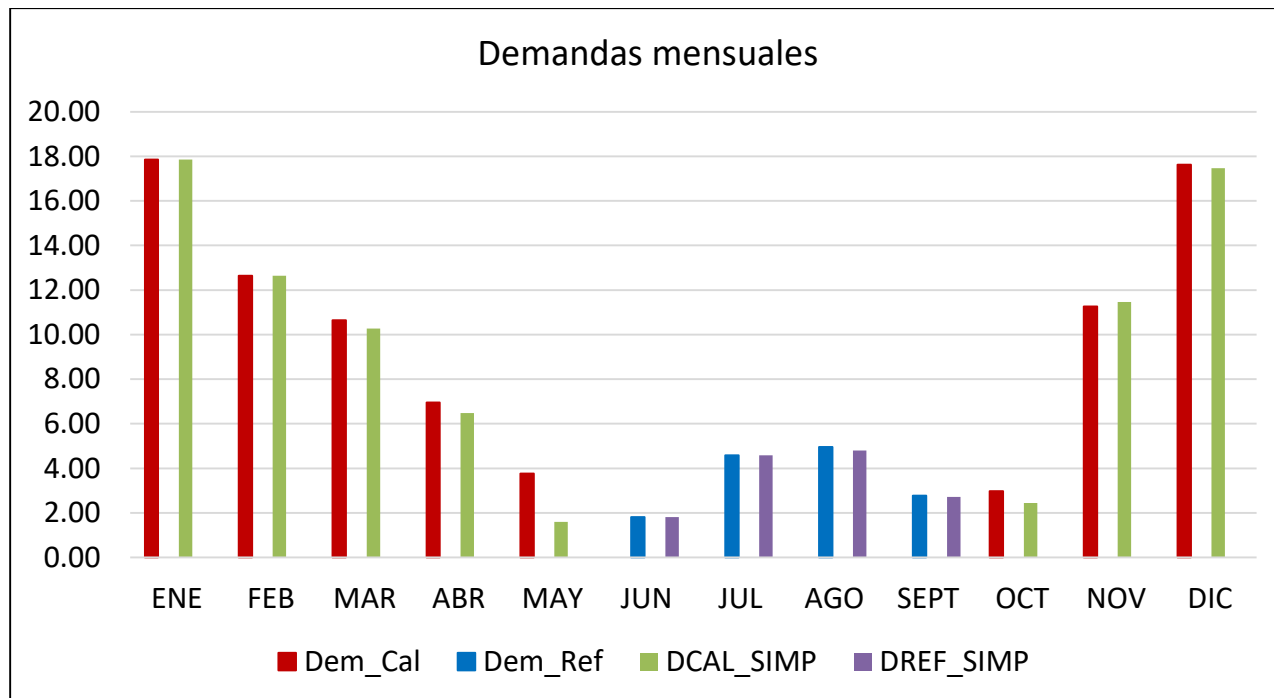


Ilustración 19. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima D3.

Los factores de corrección son:

Factores corrección	
a_inv	0.72
b_inv	0.71
a_ver	0.22
b_ver	0.31

Tabla 28. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima D3.

2.4.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi \cdot L$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$ACH_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.68	4.00
Mínimo	0.41	0.35	0.41	2.30	96.30	0.63	0.18	10.00
Recomendado	0.30	0.25	0.30	1.85	76.41	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.19	1.40	-	-	-	-
K lim	0.32	0.37	0.32	1.93	-	-	-	-

Tabla 29. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima D3.

2.4.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras para la zona climática D3, se muestran a continuación:

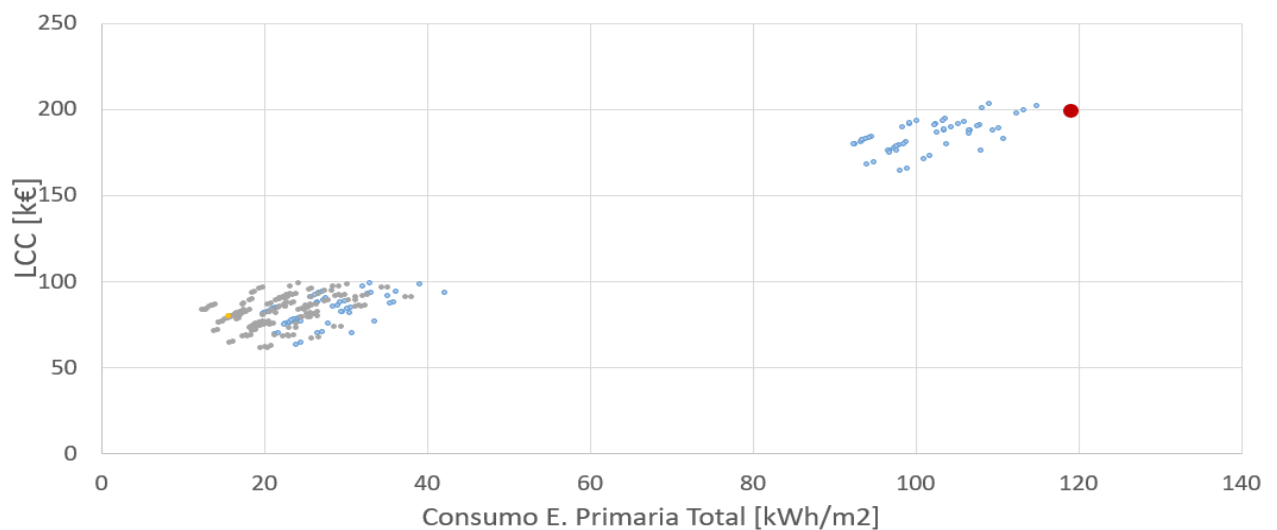


Ilustración 20. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima D3.

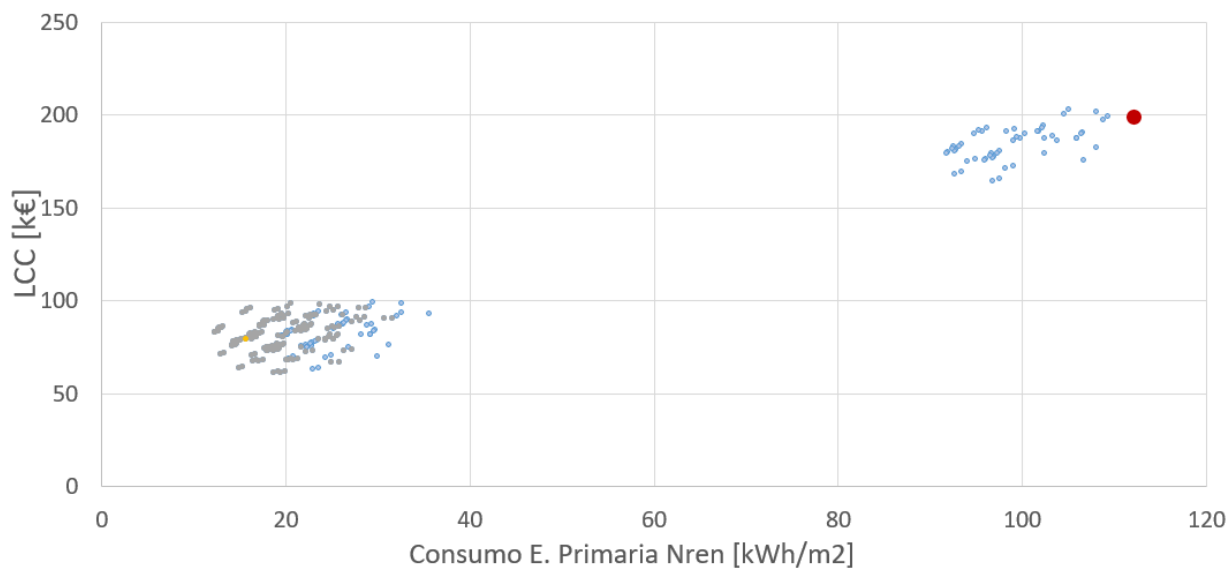


Ilustración 21. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima D3.

La mejora óptima es la mejora 162, perteneciente al paquete de mejoras recomendadas. A continuación, se muestran los datos de la mejora.

Caso	162
U muros	0.30
U cubiertas	0.25
U suelos	0.30
U ventanas	1.85
Phi-L	76.41
ACH eq	0.63
g inv	0.68
g ver	0.10
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	7.91 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	0.34 (KWh/m ² ·año)

Tabla 30. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima D3.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se produce una reforma en los puentes térmico, se utilizan valores inferiores de transmitancia térmica lineal. El valor de ACH equivalente se utiliza prácticamente el valor establecido para las Passivhause El factor solar es menor al exigido por el DB-HE, el valor de alta eficiencia. Por último, la ventilación nocturna toma el valor mayor posible, siendo rentable la utilización de elementos mecánicos para ventilar el edificio por la noche.

2.5. Bloque entremedianeras Sur. Zona climática E1.

En este apartado se realizará el estudio del bloque entre medianeras Sur de similares características a las descritas anteriormente pero situado en la zona climática E1. El procedimiento de cálculo es igual al realizado en la zona climática A4, por ello en este capítulo solo se van a mostrar los resultados obtenidos para hallar la mejora óptima. En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio. Después se realizarán las mejoras utilizando el procedimiento simplificado y se seleccionará la mejora óptima. Para el procedimiento simplificado se utilizarán los parámetros correctores que se ajustan a la demanda inicial.

2.5.1. Evaluación inicial del edificio.

En primer lugar, se muestra la demanda inicial del edificio, en oscilación libre. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

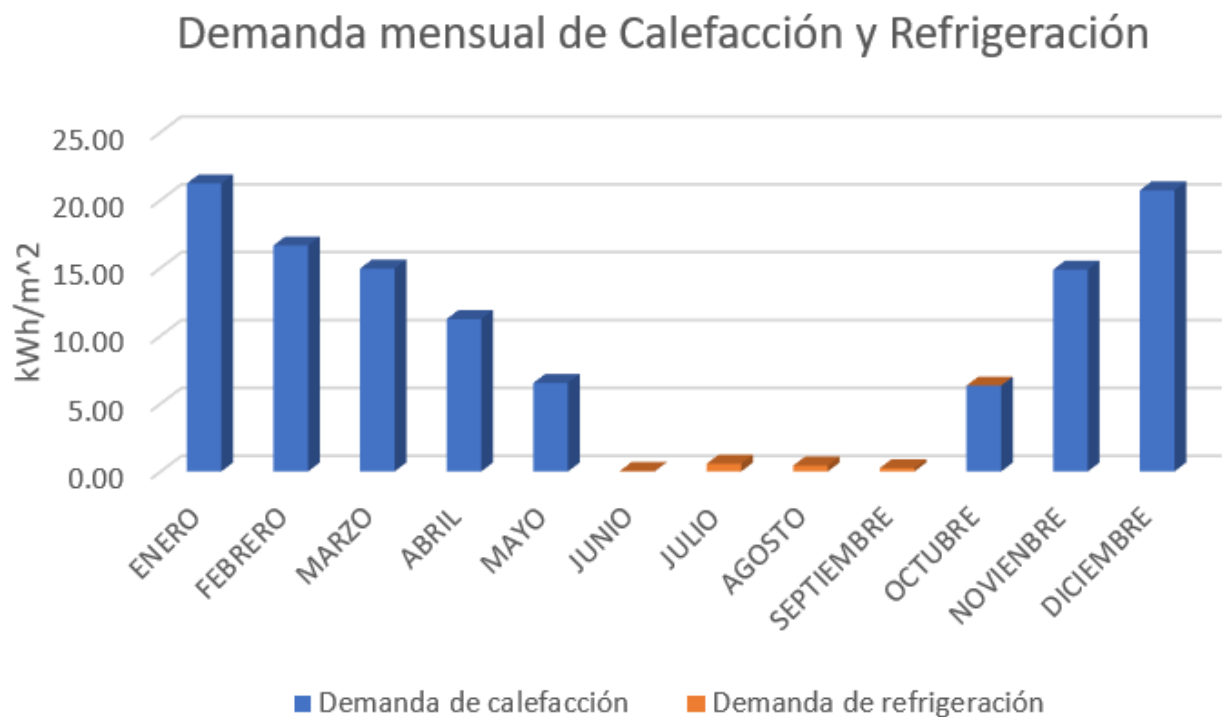


Ilustración 22. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima E1.

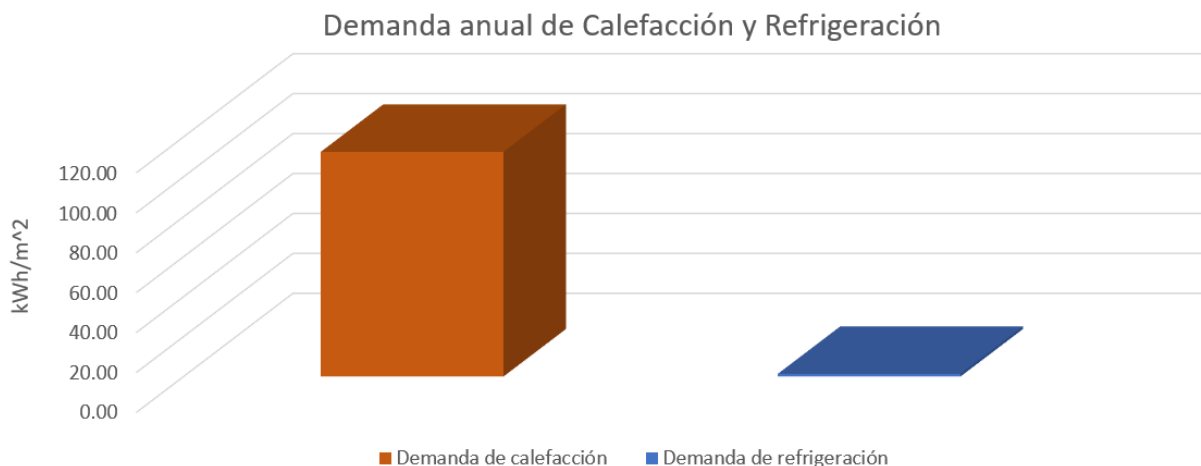


Ilustración 23. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Bloque entremedianeras, clima E1.

2.5.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en kWh/m²-año.

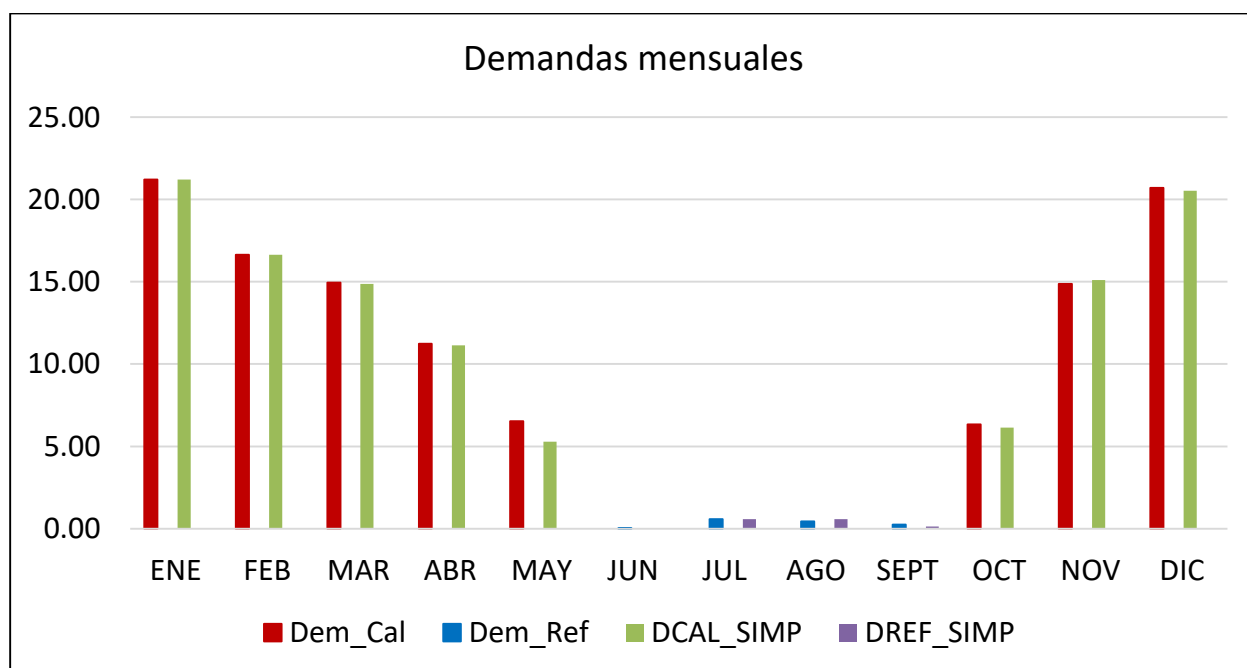


Ilustración 24. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Bloque entremedianeras, clima E1.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.71
b_inv	0.60
a_ver	0.16
b_ver	0.16

Tabla 31. Factores correctores edificio. Bloque entremedianeras. Clima E1.

2.5.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular. En este clima las mejoras que se proponen son diferentes a los demás (las mejoras descritas en vivienda unifamiliar, clima E1, también son distintas al resto de climas). El clima E1 tiene una demanda de verano casi despreciable frente a la demanda calefacción, por ello las mejoras están enfocadas a las mejoras frente a las pérdidas en el régimen de invierno, por ello, no se realizan mejoras de las ACH nocturnas o del parámetro g.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	Usuelos [W/m ² ·K]	Uventanas [W/m ² ·K]	Phi-L [W/m·K]	ACH _{eq} [h ⁻¹]	g	ACH _{eq,noc} [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.68	4.00
Mínimo	0.37	0.33	0.37	1.80	96.30	0.63	-	-
Recomendado	0.28	0.24	0.28	1.55	76.41	-	-	-
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.19	1.30	-	-	-	-
K lim	0.29	0.25	0.29	1.58	-	-	-	-
Mejora 1	0.325	0.385	0.325	1.675	-	-	-	-
Mejora 2	0.23	0.20	0.24	1.43	-	-	-	-

Tabla 32. Resumen de mejoras. Bloque entremedianeras, clima E1.

2.5.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

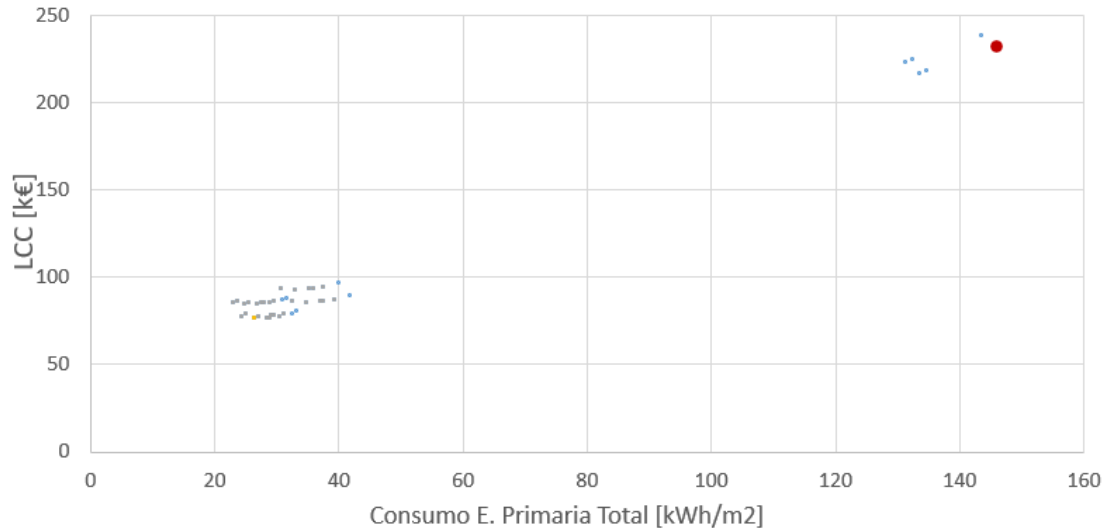


Ilustración 25. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima E1.

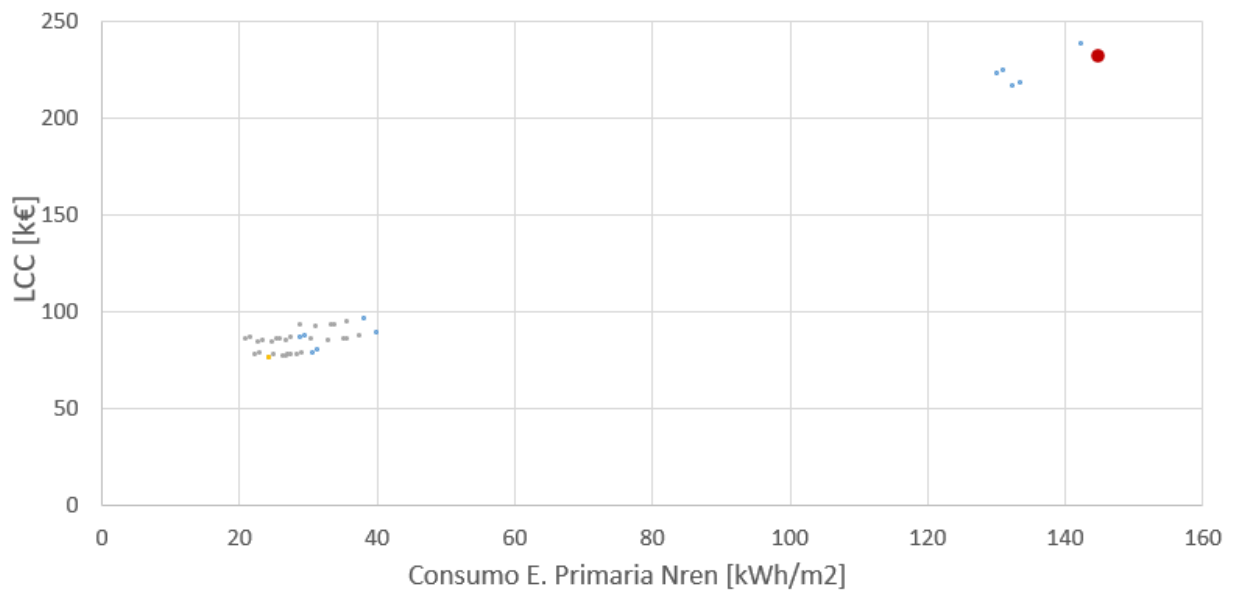


Ilustración 26. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Bloque entremedianeras, clima E1.

Se escoge la mejora 29 como mejora óptima. Esta mejora corresponde al paquete de medidas medio entre las mejoras de alta eficiencia y recomendadas.

Caso	29
U muros	0.28
U cubiertas	0.24
U suelos	0.28
U ventanas	1.55
Phi-L	76.41
ACH eq	0.63
g inv	0.68
g ver	0.68
ACH eq noche	4
Demanda calefacción	12.14 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	- (KWh/m ² ·año)

Tabla 33. Mejora óptima. Bloque entremedianeras, clima E1.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se produce una reforma en los puentes térmico, se utilizan valores inferiores de transmitancia térmica lineal. El valor de ACH equivalente utilizado es prácticamente el exigido para las viviendas del tipo Passivhouse Por último, la ventilación nocturna y el factor solar son los valores inicial Es despreciable la demanda de refrigeración, por ello no es económicamente rentable realizar reformas en el edificio que disminuyan la demanda de refrigeración.

2.6. Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática A4.

2.6.1. Características constructivas.

En lo sucesivo se va a estudiar un edificio diferente al anterior. Ahora el edificio en cuestión es una vivienda unifamiliar aislada. Suponemos que las características constructivas son similares al bloque entremedianera, con la salvedad, de que las superficies en contacto con el sol y dimensiones del nuevo edificio son diferentes al anterior.

En la siguiente tabla se muestran las transmitancias de muros, ventanas, suelo y cubierta.

Parámetros		Valor	Unidades
Transmitancia	Muros	1.57	W/m ² ·K
	Cubierta	3.30	W/m ² ·K
	Suelos	2.47	W/m ² ·K
	Ventana	5.70	W/m ² ·K
Puentes térmicos Transmitancia lineal		57.82	W/m·K
Factor solar		0.74	-
ACH_eq		0.72	h ⁻¹
ACH_noche		4.00	h ⁻¹

Por otro lado, las áreas de este tipo de vivienda si difiere del edificio anterior. A continuación, se muestra una tabla con las superficies del edificio.

Orientación	Superficie total m ²	Área muros m ²	Área ventanas m ²	% Acristalado
NORTE	44.75	41.61	3.14	7.02
SUR	44.97	41.05	3.92	3.92
ESTE	39.72	33.34	6.38	16.06
OESTE	39.79	32.02	7.77	19.53
CUBIERTA	61.576	61.576	-	-
SUELO	47.75	47.75	-	-

Y a continuación se muestra cual es la compacidad del edificio, valor determinante para calcular k límite.

Superficie(m ²)	102.30
Volumen(m ³)	243.27
Compacidad(m ² /m ³)	0.87

2.6.2. Situación inicial.

Para el edificio unifamiliar en oscilación libre, se tienen unas demandas de refrigeración y calefacción en la zona climática A4. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

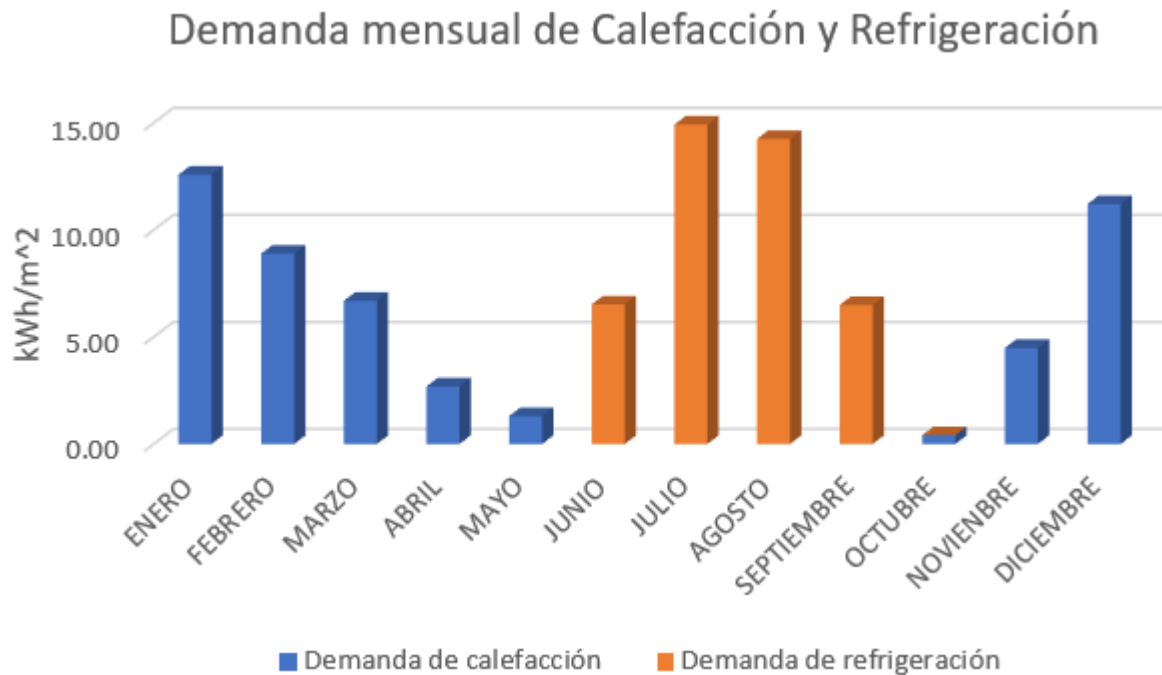


Ilustración 27. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima A4.

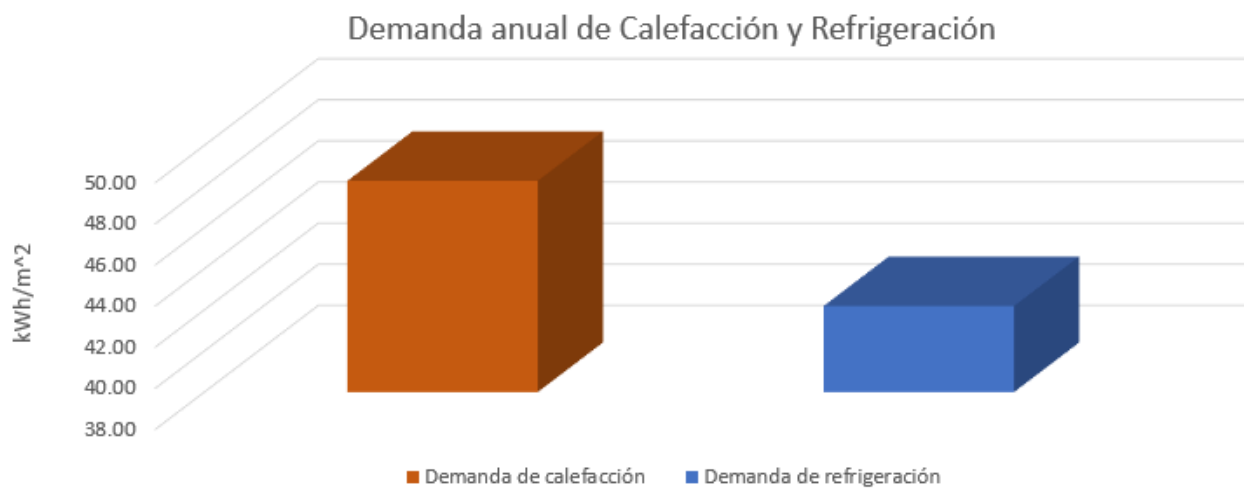


Ilustración 28. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima A4.

2.6.3. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar

los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²·año.

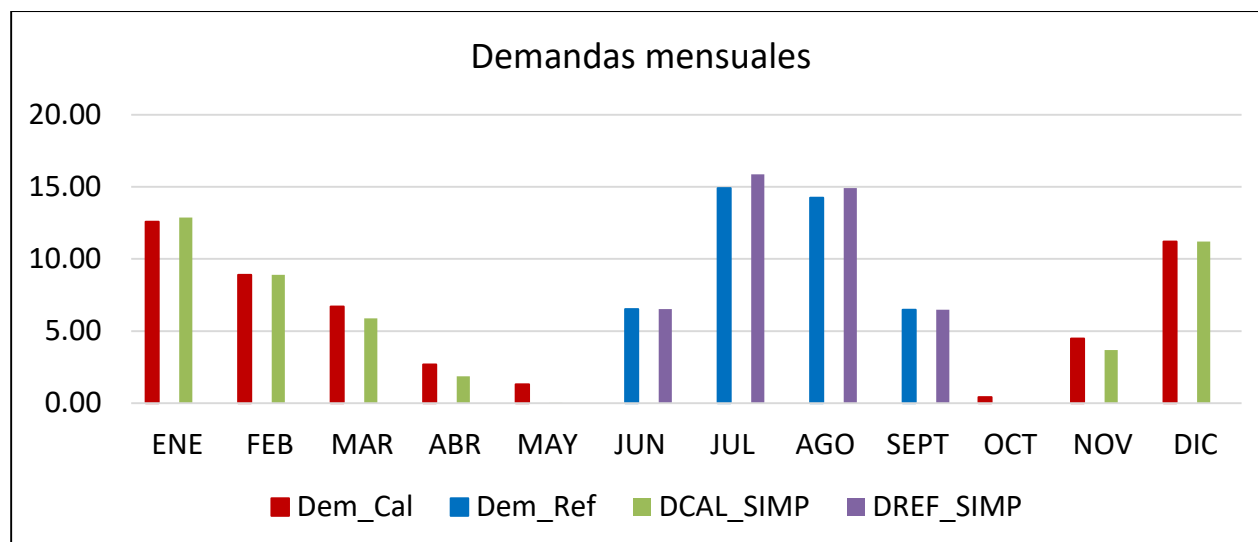


Ilustración 29. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima A4.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.55
b_inv	0.53
a_ver	0.34
b_ver	0.41

Tabla 34. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima A4.

2.6.4. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular. La proposición de las mejoras se realiza de forma similar al bloque entrmedianeras.

Mejora	U _{muros} [W/m ² ·K]	U _{cubiertas} [W/m ² ·K]	Usuelos [W/m ² ·K]	Uventanas [W/m ² ·K]	Phi-L [W/m·K]	ACH _{eq} [h ⁻¹]	g	ACH _{eq,noc} [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	57.82	0.72	0.74	4.00
Mínimo	0.70	0.50	0.70	3.60	29.47	0.63	0.08	10.00
Recomendado	0.50	0.37	0.54	3.10	29.42	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.30	0.23	0.37	2.60	-	-	-	-
K lim	0.49	0.36	0.53	3.07	-	-	-	-

Tabla 35. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima A4.

2.6.5. Selección óptima de la mejora.

A continuación, se muestran los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras:

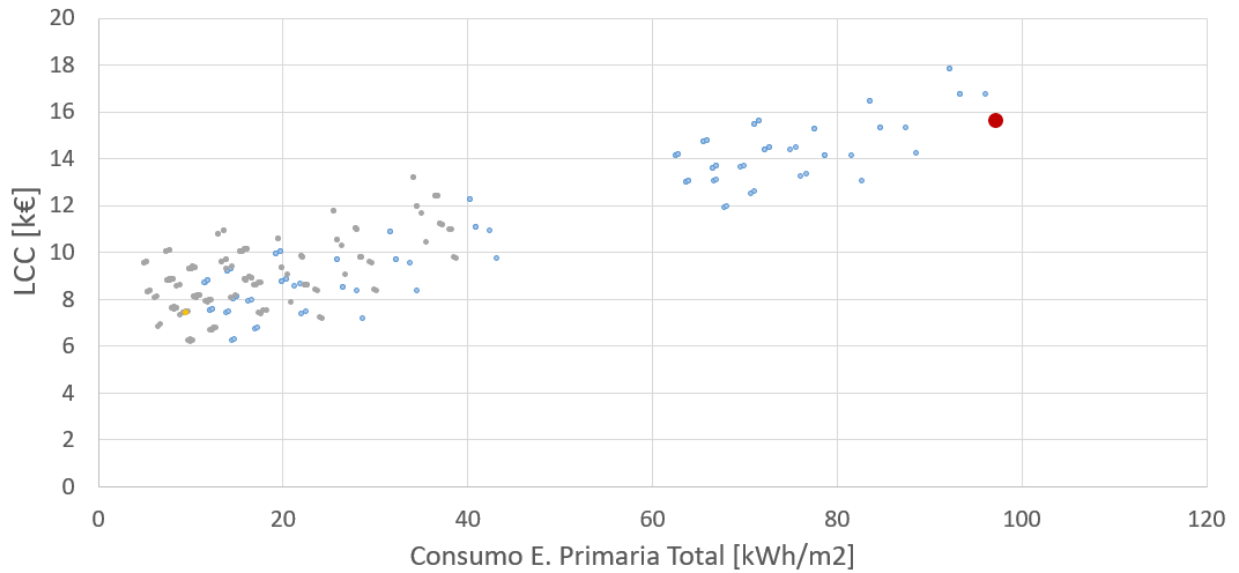


Ilustración 30. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima A4.

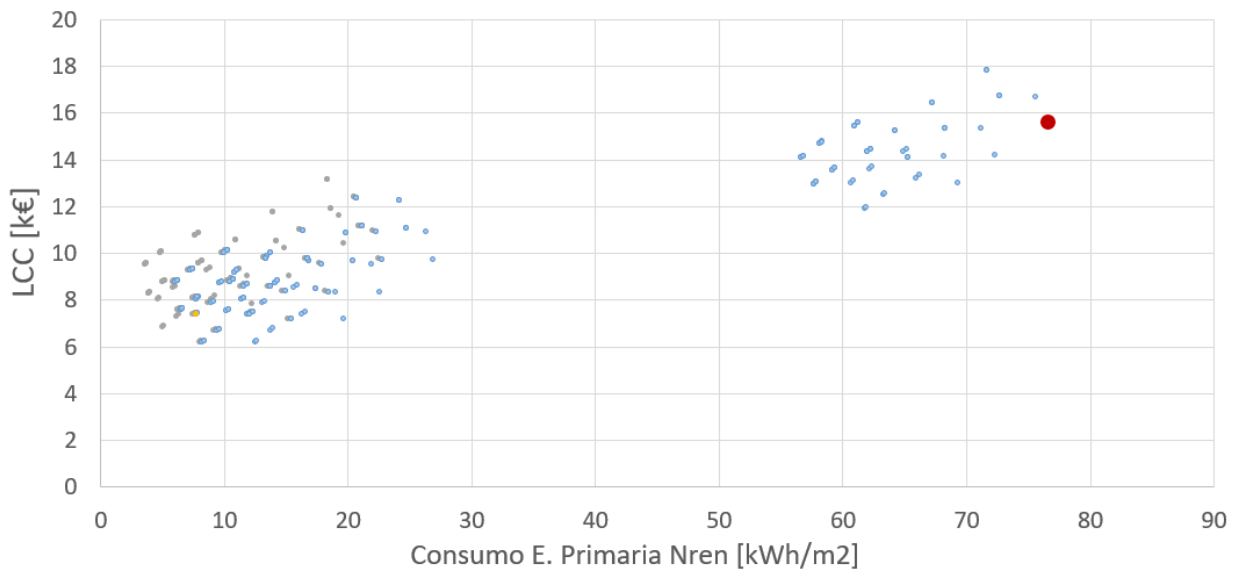


Ilustración 31. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima A4.

La mejora óptima es la 123, perteneciente al paquete de medidas recomendadas.

Caso	123
U muros	0.50
U cubiertas	0.37
U suelos	0.54
U ventanas	3.10
Phi-L	57.82
ACH eq	0.63
g inv	0.74
g ver	0.08
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	4.37 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	3.69 (KWh/m ² ·año)

Tabla 36. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima A4.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantienen los valores iniciales. El valor de ACH equivalente utilizado es prácticamente el exigido para las viviendas del tipo Passivhouse. El factor solar es el valor exigido por el DB-HE. Por último, el valor de ventilación nocturna es el mayor posible.

2.7. Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática B4.

2.7.1. Situación inicial.

En primer lugar, se van a mostrar las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas para el edificio unifamiliar en el clima B4. Las demandas iniciales están calculadas en oscilación libre, sin aplicar ninguna mejora. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

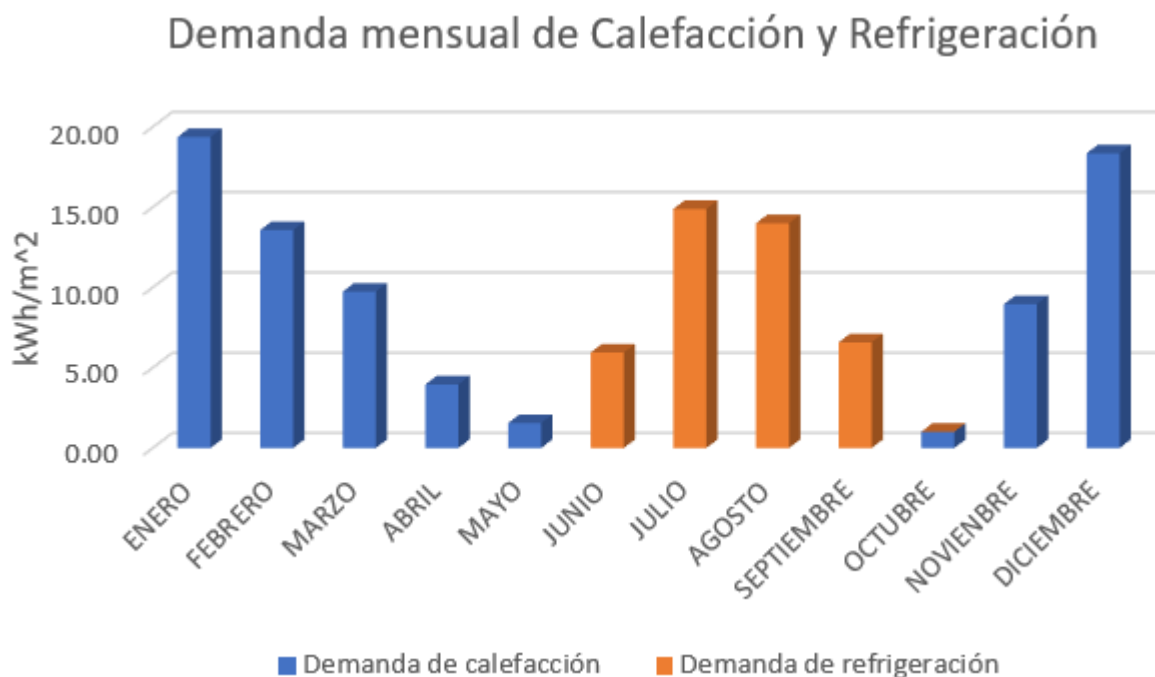


Ilustración 32. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima B4.

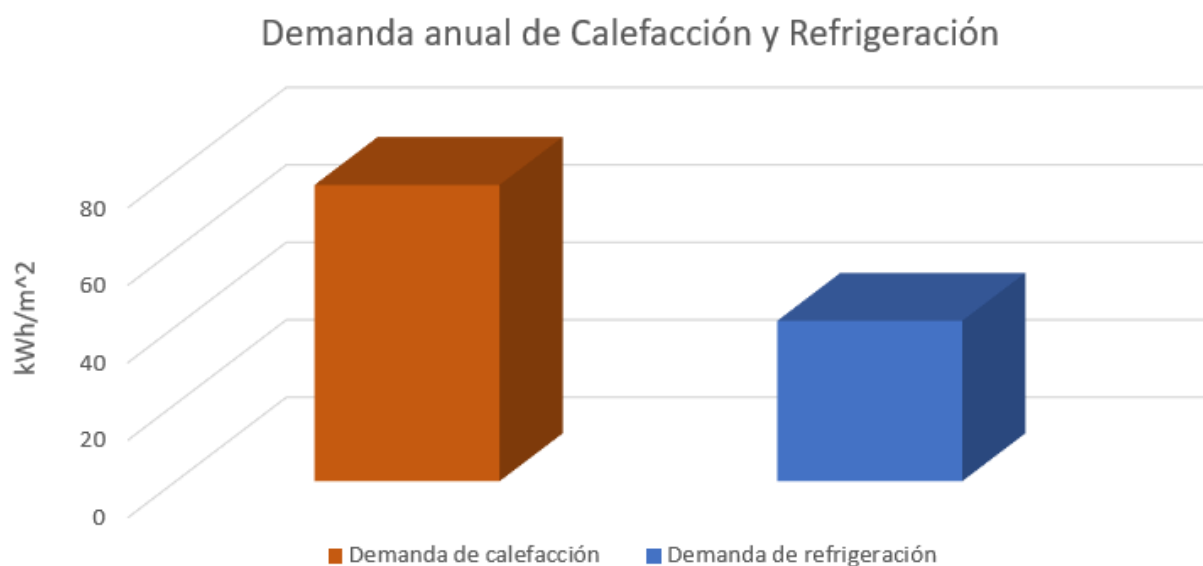


Ilustración 33. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima B4.

2.7.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Se procede a la evaluación de las mejoras. Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²-año.

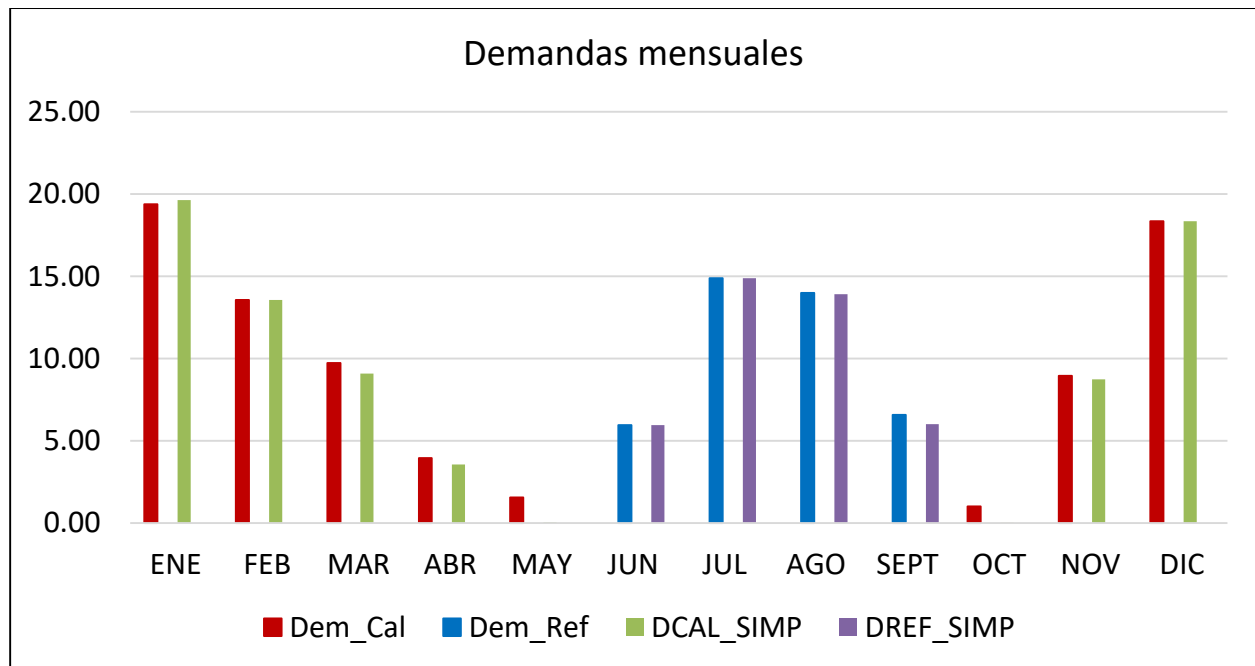


Ilustración 34. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima B4.

Los factores de corrección en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.57
b_inv	0.62
a_ver	0.33
b_ver	0.37

Tabla 37. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima B4.

2.7.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi\text{-L}$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$\text{ACH}_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	57.82	0.72	0.74	4.00
Mínimo	0.56	0.44	0.56	3.10	29.47	0.63	0.08	10.00
Recomendado	0.42	0.33	0.44	2.60	29.42	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.27	0.21	0.32	2.10	-	-	-	-
K lim	0.47	0.37	0.48	2.77	-	-	-	-

Tabla 38. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima B4.

2.7.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

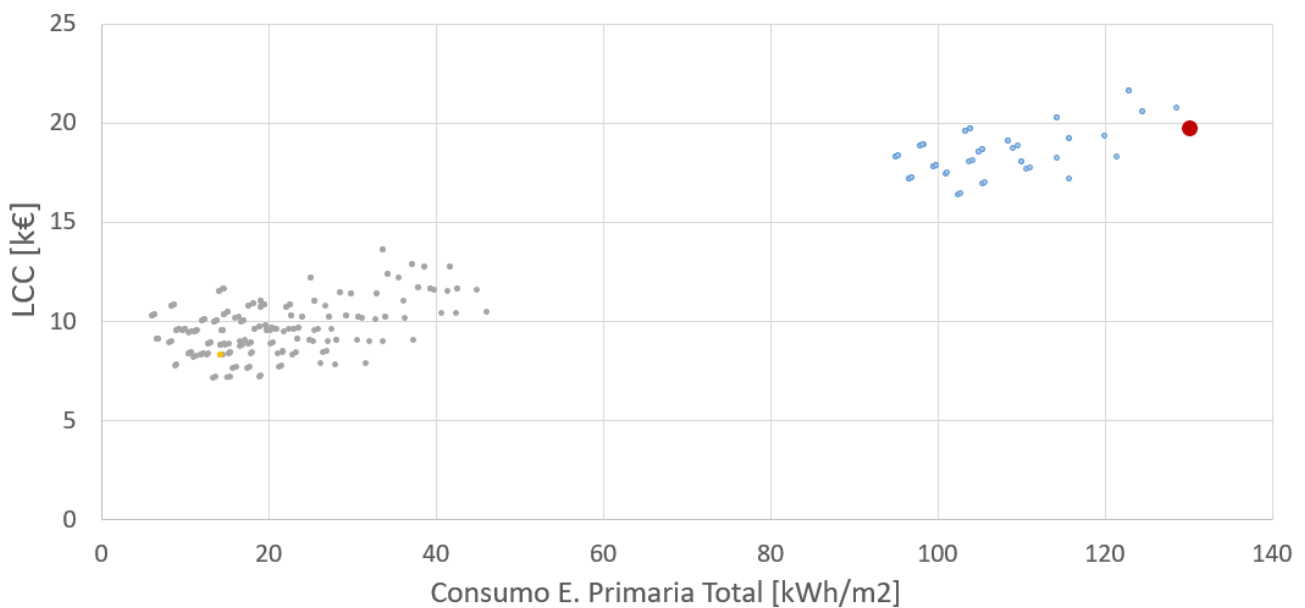


Ilustración 35. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima B4.

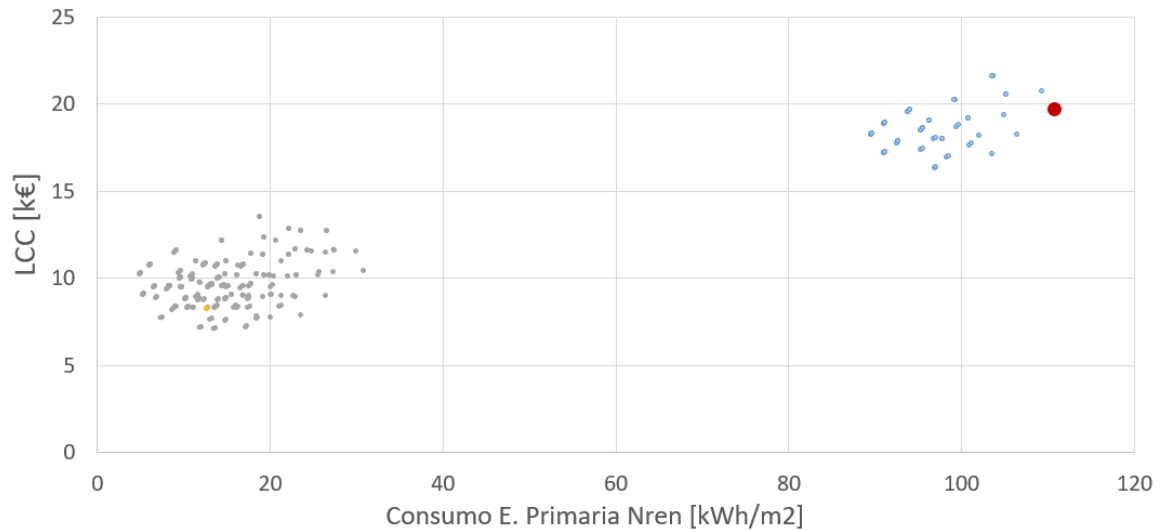


Ilustración 36. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima B4.

La mejora óptima corresponde al número 231, sacada del paquete de medidas denominado K límite

Caso	231
U muros	0.47
U cubiertas	0.37
U suelos	0.48
U ventanas	2.77
Phi-L	57.82
ACH eq	0.63
g inv	0.74
g ver	0.08
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	8.51 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	3.30 (KWh/m ² ·año)

Tabla 39. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima B4.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora K límite, es decir, las transmitancias térmicas de los elementos son las necesarias para cumplir estrictamente el valor de K límite impuesto en el HE1. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantiene el valor inicial del edificio. El valor de ACH equivalente es prácticamente el valor de referencia para las Passivhouse. El factor solar es valor que cumple la normativa. Por último, la ventilación nocturna toma el valor mayor posible, siendo rentable la utilización de elementos mecánicos para ventilar el edificio por la noche.

2.8. Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática C3.

2.8.1. Situación inicial.

Para el edificio unifamiliar en oscilación libre, se tienen unas demandas de refrigeración y calefacción en la zona climática C3. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

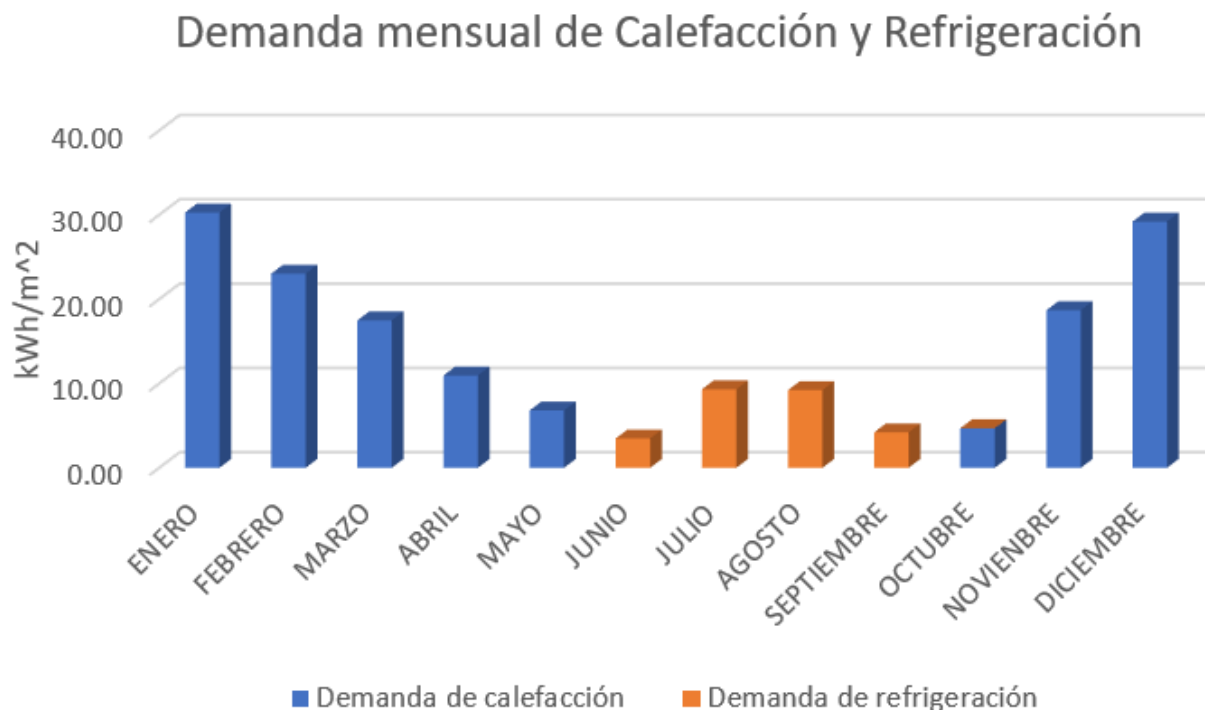


Ilustración 37. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima C3

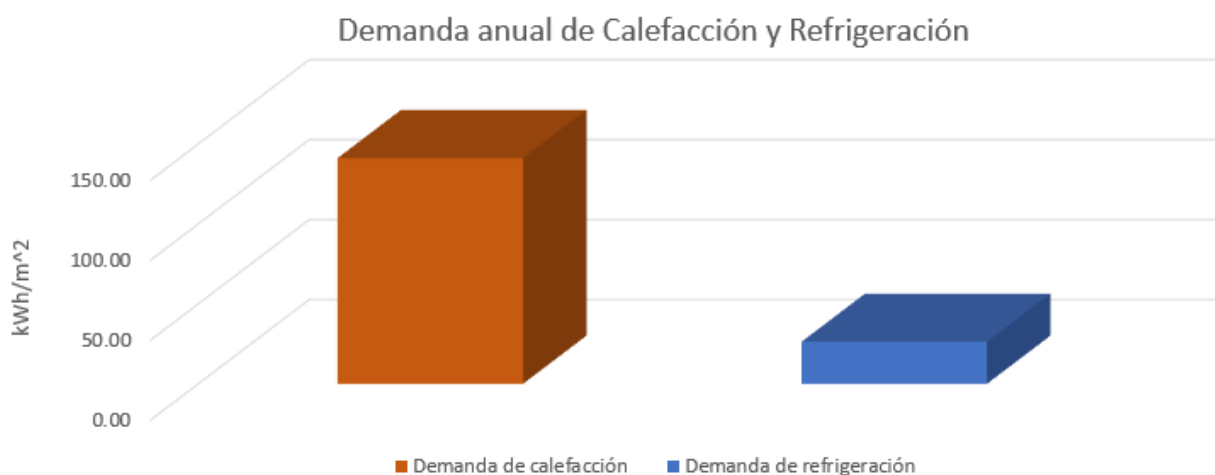


Ilustración 38. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima C3.

2.8.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²·año.

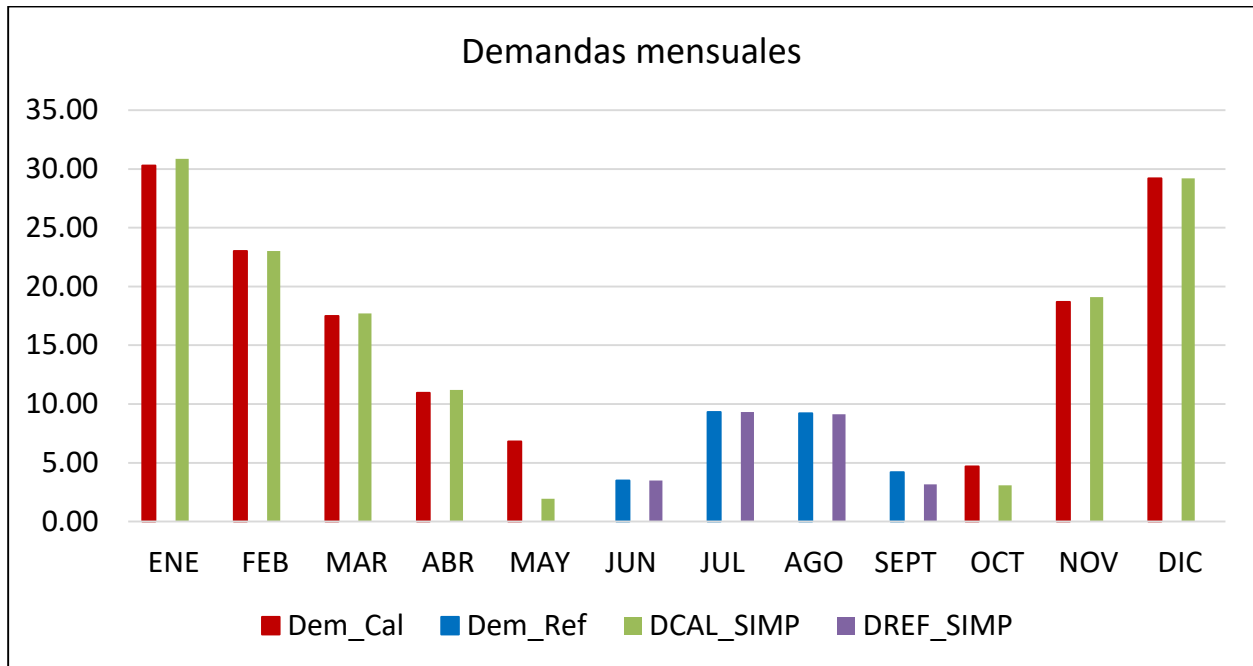


Ilustración 39. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima C3.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.58
b inv	0.67
a_ver	0.24
b_ver	0.33

Tabla 40. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima C3.

2.8.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi\text{-L}$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$\text{ACH}_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	57.82	0.72	0.74	4.00
Mínimo	0.49	0.40	0.49	2.60	29.47	0.63	0.08	10.00
Recomendado	0.34	0.28	0.36	2.20	29.42	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.22	1.80	-	-	-	-
K lim	0.38	0.30	0.41	2.46	-	-	-	-

Tabla 41. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima C3.

2.8.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

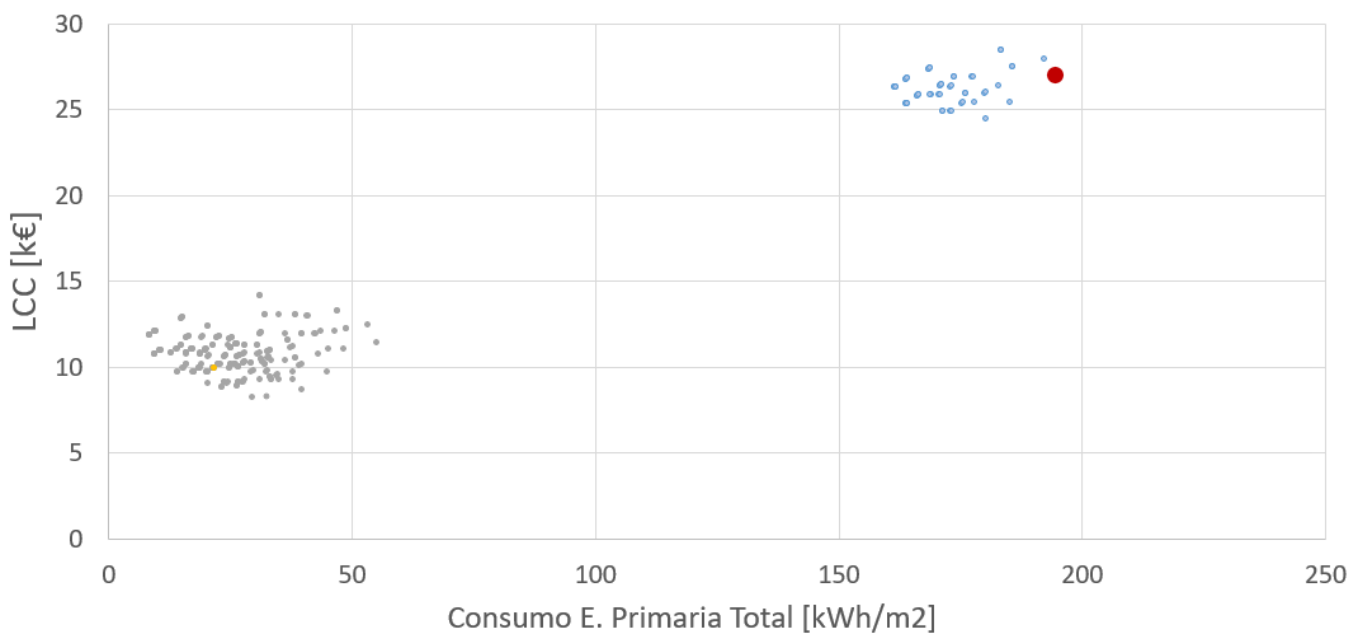


Ilustración 40. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima C3.

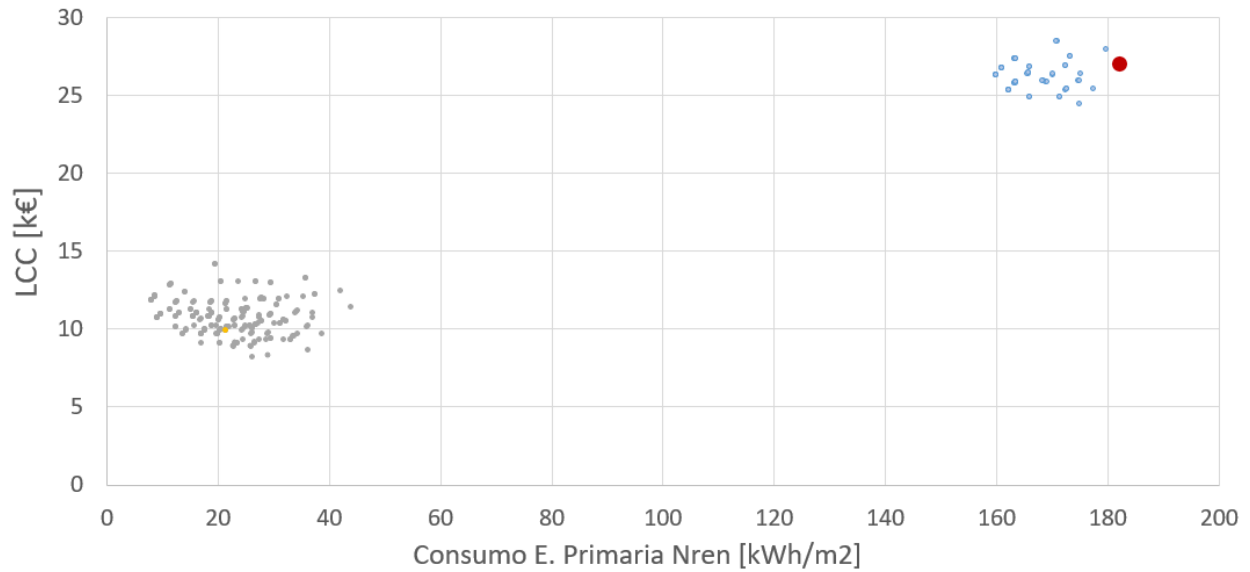


Ilustración 41. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima C3.

La mejora 123 es la escogida para el clima C3, esta pertenece al paquete de medidas recomendadas.

Caso	123
U muros	0.34
U cubiertas	0.28
U suelos	0.36
U ventanas	2.20
Phi-L	57.82
ACH eq	0.63
g inv	0.74
g ver	0.08
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	16.39 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	0.56 (KWh/m ² ·año)

Tabla 42. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima C3.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantienen los valores iniciales. El valor de ACH equivalente utilizado es prácticamente el exigido para las viviendas del tipo Passivhouse. El factor solar es el valor exigido por el DB-HE. Por último, el valor de ventilación es el mayor posible.

2.9. Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática D3.

2.9.1. Situación inicial.

Para el edificio unifamiliar en oscilación libre, se tienen unas demandas de refrigeración y calefacción en la zona climática D3. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

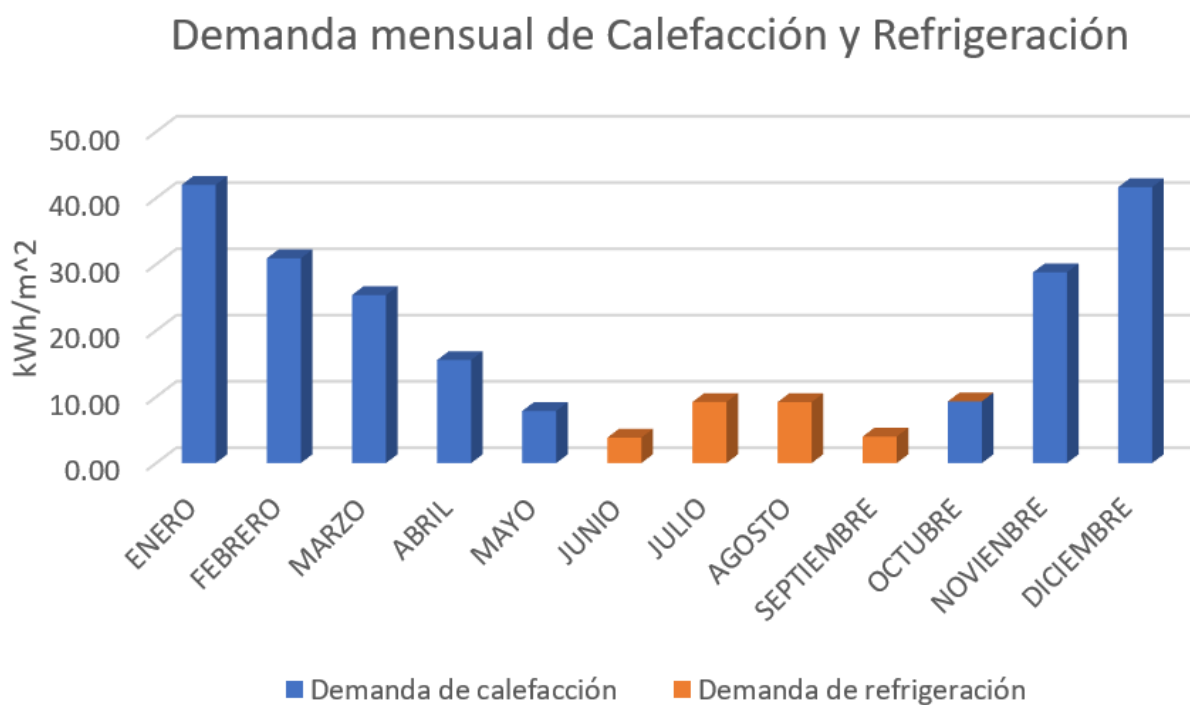


Ilustración 42. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima D3.

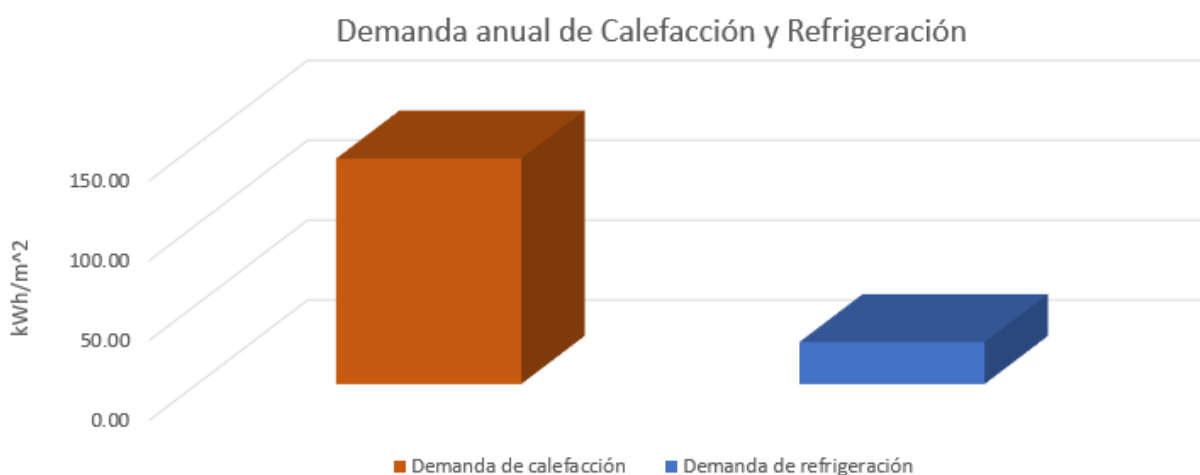


Ilustración 43. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima D3.

2.9.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²·año.

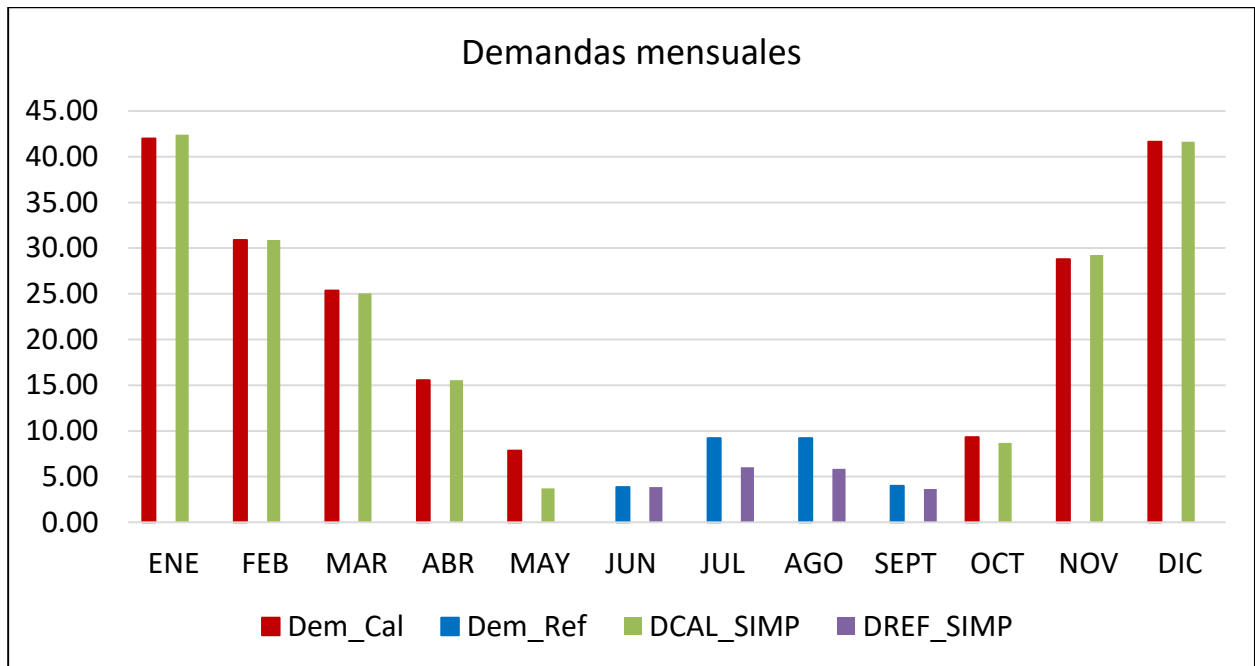


Ilustración 44. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima D3.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.59
b_inv	0.71
a_ver	0.06
b_ver	0.17

Tabla 43. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima D3.

2.9.3. Evaluación de las mejoras.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los paquetes de mejoras que se van a simular.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi\text{-L}$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$\text{ACH}_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	57.82	0.72	0.74	4.00
Mínimo	0.41	0.35	0.41	2.30	29.47	0.63	0.08	10.00
Recomendado	0.30	0.25	0.30	1.85	29.42	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.19	1.40	-	-	-	-
K lim	0.40	0.34	0.40	2.24	-	-	-	-

Tabla 44. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima D3.

2.9.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

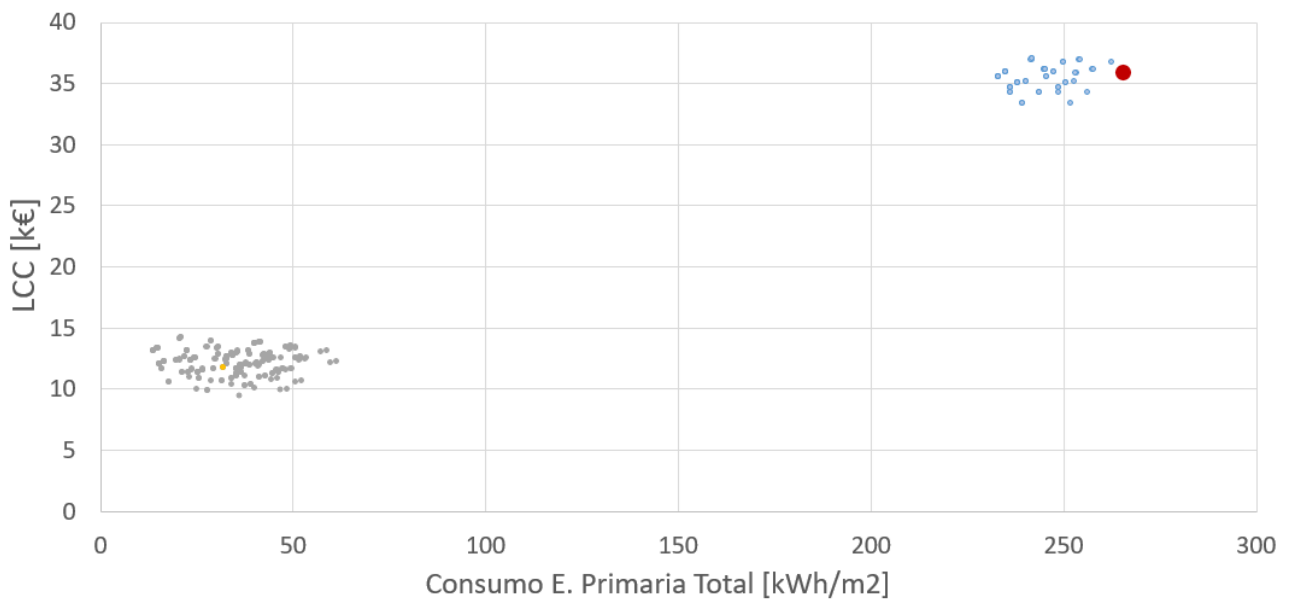


Ilustración 45. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima D3.

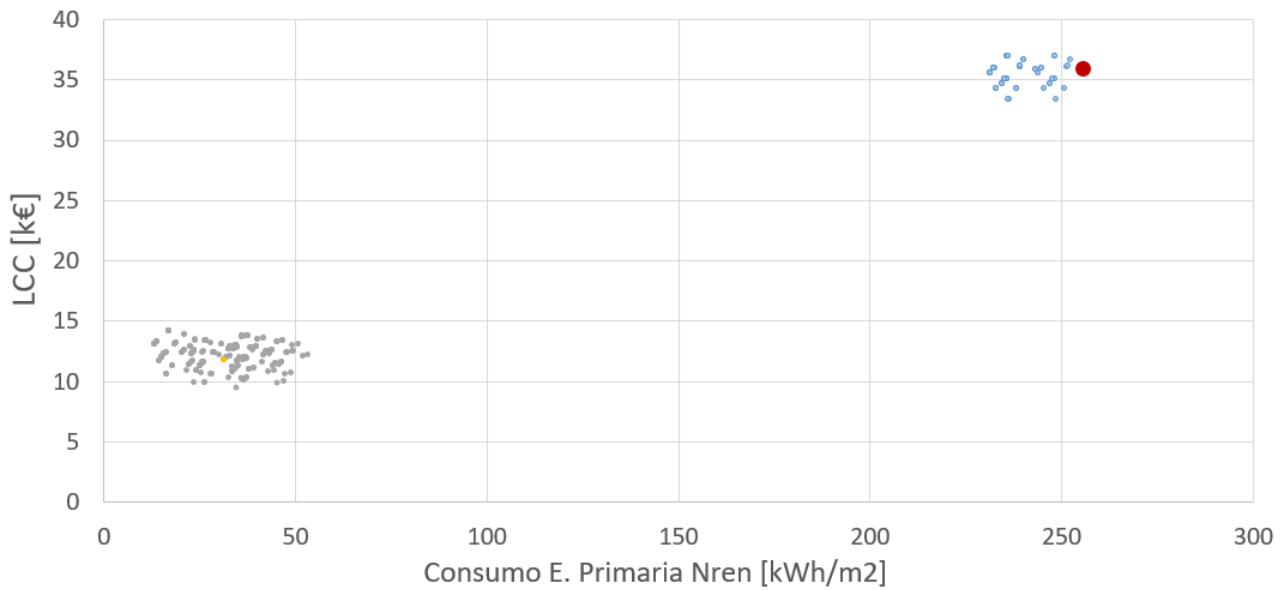


Ilustración 46. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima D3.

La mejora escogida es la 123, perteneciente al grupo de mejoras recomendadas.

Caso	123
U muros	0.30
U cubiertas	0.25
U suelos	0.30
U ventanas	1.85
Phi-L	57.82
ACH eq	0.63
g inv	0.08
g ver	0.74
ACH eq noche	15
Demanda calefacción	24.44 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	0.52 (KWh/m ² ·año)

Tabla 45. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima D3.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora recomendado, es decir, los valores son la media entre los mínimos exigidos por la normativa y los valores de alta eficiencia. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se mantienen los valores iniciales. El valor de ACH equivalente utilizado es prácticamente el exigido para las viviendas del tipo Passivhouse. El factor solar es el valor exigido por el DB-HE. Por último, el valor de ventilación nocturna es el mayor posible.

2.10. Vivienda unifamiliar aislada. Zona Climática E1.

2.10.1. Situación inicial.

Para el edificio unifamiliar en oscilación libre, se tienen unas demandas de refrigeración y calefacción en la zona climática E1. La primera gráfica muestra la demanda mensual distinguiendo entre los meses de refrigeración y los de calefacción. En la segunda gráfica se muestran las demandas anuales de refrigeración y calefacción.

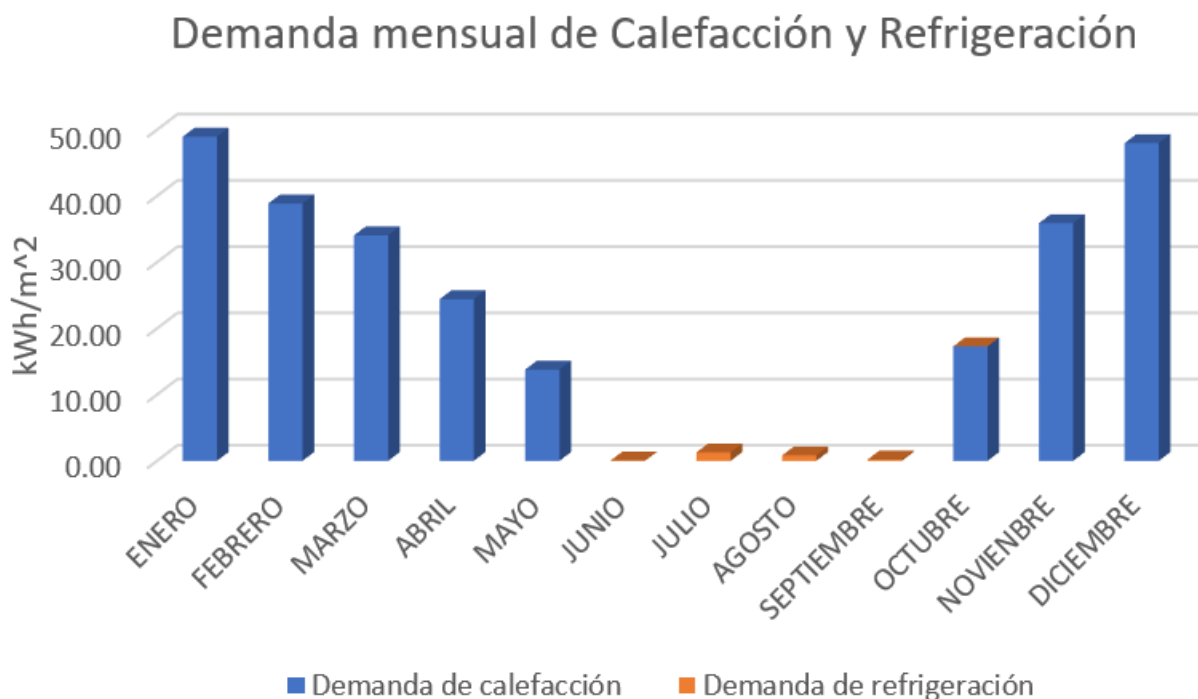


Ilustración 47. Demanda mensual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima E1.

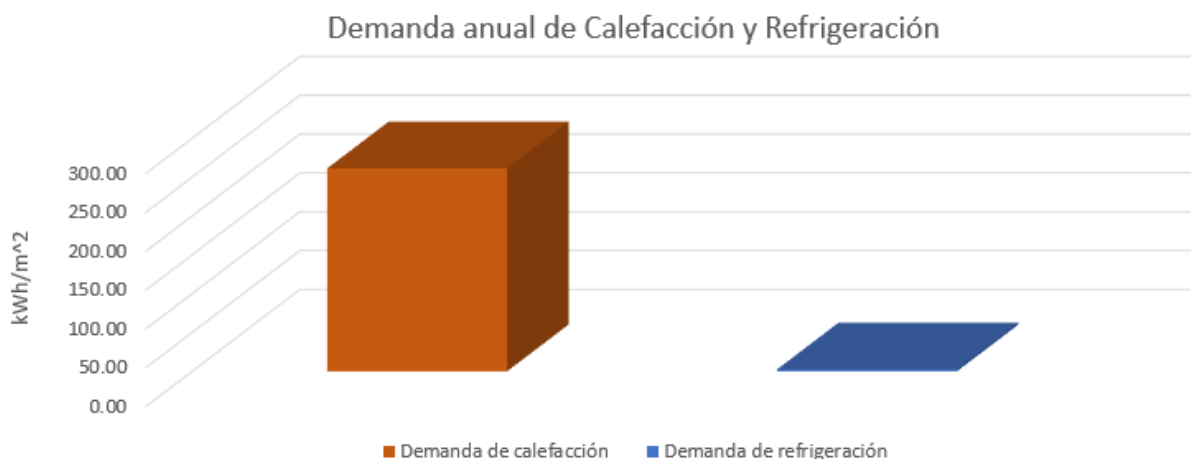


Ilustración 48. Demanda anual de Calefacción y Refrigeración. Vivienda unifamiliar, clima E1.

2.10.2. Procedimiento simplificado. Parámetros característicos.

Para la evaluación de las mejoras se utiliza el procedimiento simplificado descrito anteriormente, para ajustar los parámetros correctores de las ecuaciones se utiliza como referencia la demanda inicial del edificio. En la siguiente gráfica se muestran las demandas reales del edificio en la situación inicial y las obtenidas por el procedimiento simplificado. Las demandas se expresan en KWh/m²·año.

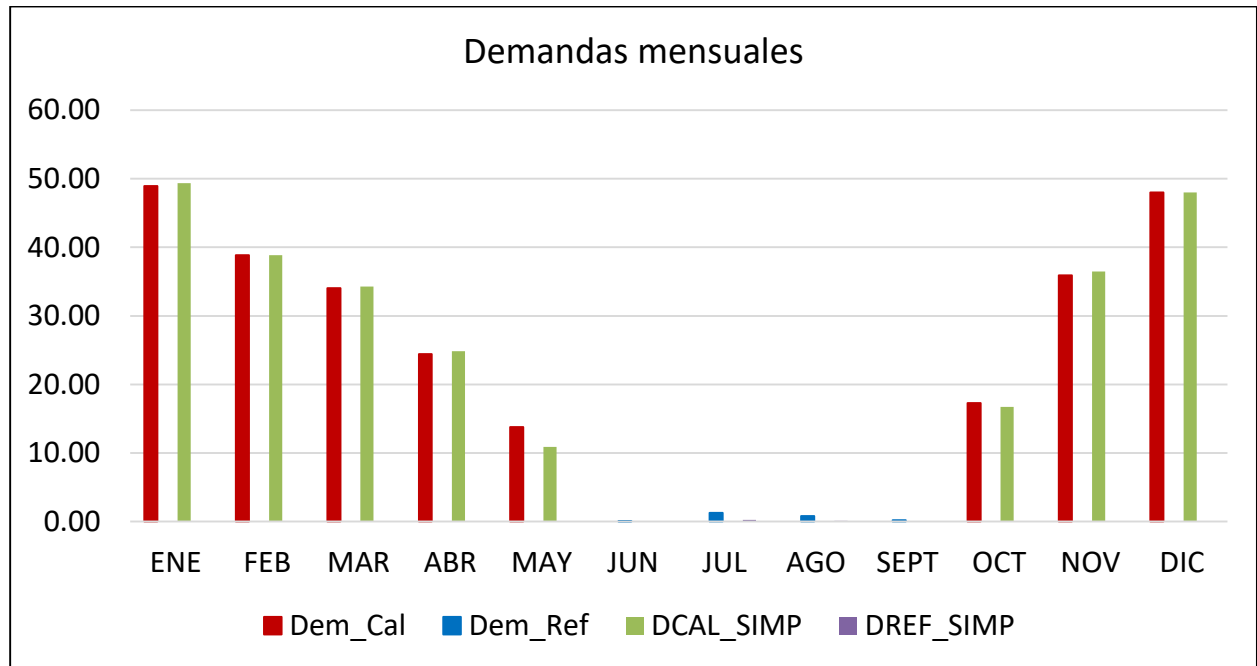


Ilustración 49. Demandas reales frente a demandas calculadas por método simplificado. Vivienda unifamiliar, clima E1.

Los factores correctores en este caso son:

Factores corrección	
a_inv	0.59
b inv	0.69
a_ver	0.16
b_ver	0.16

Tabla 46. Factores correctores edificio. Vivienda unifamiliar. Clima E1.

2.10.3. Evaluación de las mejoras.

Al igual que en el bloque entremedianeras en el clima E1, se realizan una serie de mejoras diferentes al resto de climas. Se proponen dos mejoras medias entre el paquete de mejoras recomendadas y mínimas; y mejoras medias entre las mejoras de alta eficiencia y las recomendadas.

Mejora	U_{muros} [W/m ² ·K]	$U_{\text{cubiertas}}$ [W/m ² ·K]	U_{suelos} [W/m ² ·K]	U_{ventanas} [W/m ² ·K]	$\Phi \cdot L$ [W/m·K]	ACH_{eq} [h ⁻¹]	g	$ACH_{\text{eq,noc}}$ [h ⁻¹]
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.72	0.74	4.00
Mínimo	0.37	0.33	0.37	1.80	96.30	0.63	0.08	10.00
Recomendado	0.28	0.24	0.28	1.55	76.41	-	0.10	15.00
Alta eficiencia	0.18	0.15	0.19	1.30	-	-	-	-
K lim	0.25	0.21	0.25	1.47	-	-	-	-
Mejora 1	0.325	0.385	0.325	1.675				
Mejora 2	0.30	0.26	0.30	1.61				

Tabla 47. Resumen de mejoras. Vivienda unifamiliar, clima E1.

2.10.4. Selección óptima de la mejora.

Los resultados de consumo de energía primaria y Costes de Ciclo de Vida asociados a cada una de las mejoras se muestran a continuación:

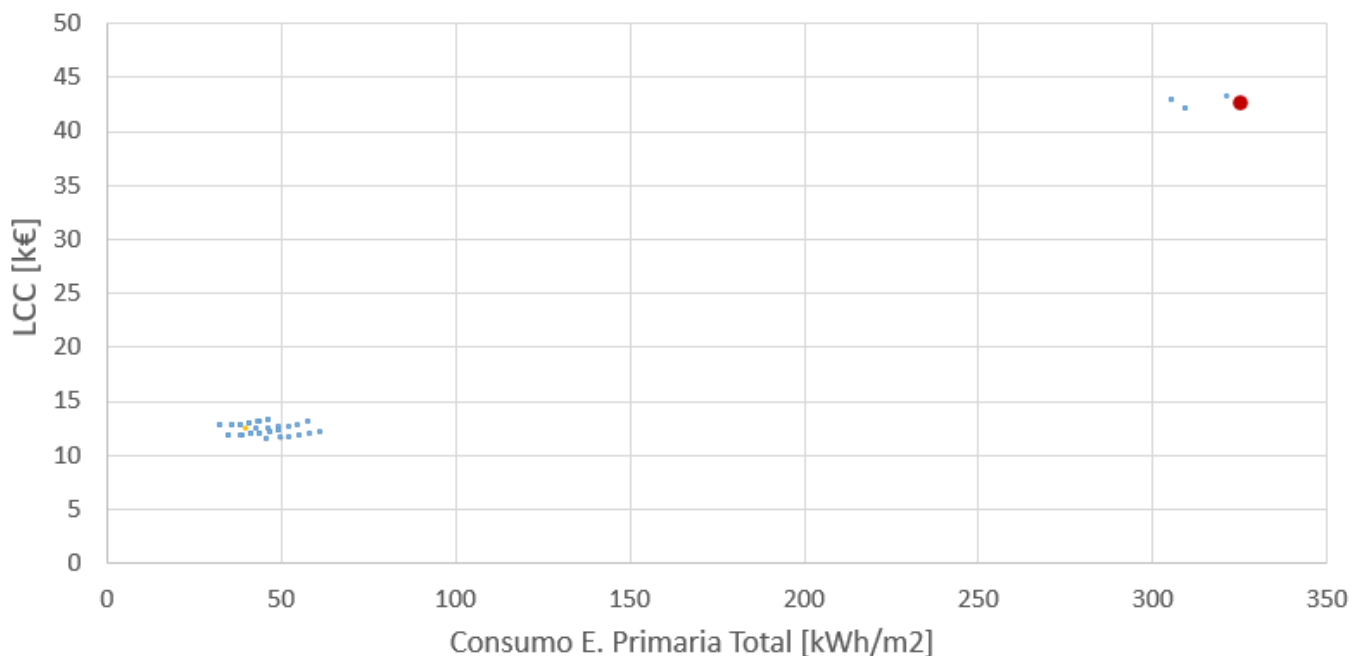


Ilustración 50. Consumo de Energía Primaria total frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima E1.

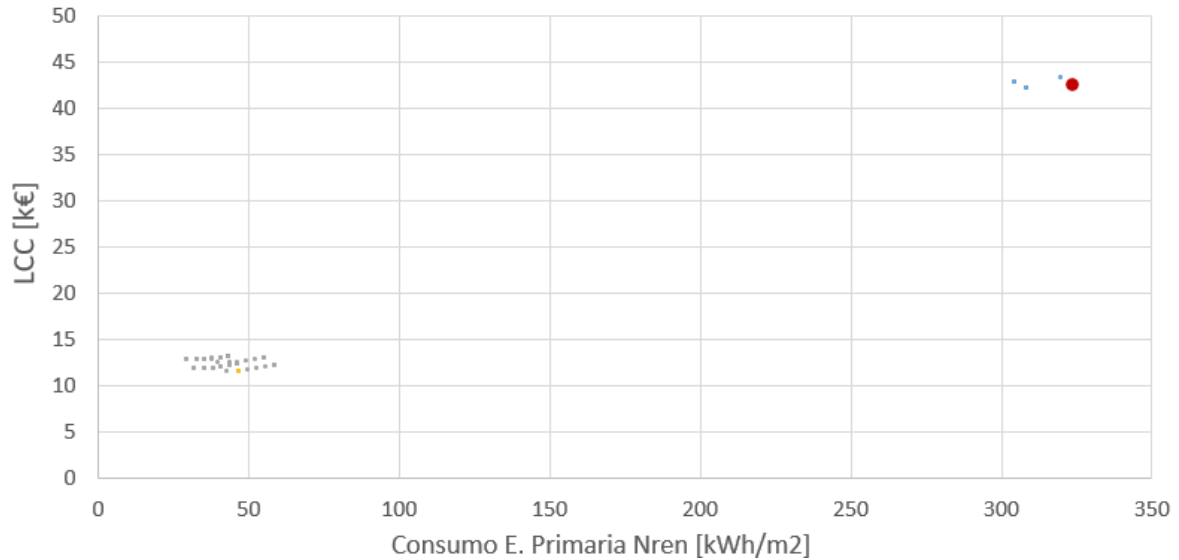


Ilustración 51. Consumo de Energía Primaria no renovable frente al Coste del Ciclo de Vida. Vivienda unifamiliar, clima E1.

La mejora se da en el caso 29, correspondiente al paquete de K límite.

Caso	26
U muros	0.25
U cubiertas	0.21
U suelos	0.25
U ventanas	1.47
Phi-L	57.82
ACH eq	0.63
g inv	0.74
g ver	0.74
ACH eq noche	4
Demanda calefacción	29.41 (KWh/m ² ·año)
Demanda refrigeración	- (KWh/m ² ·año)

Tabla 48. Mejora óptima. Vivienda unifamiliar, clima E1.

La mejora asociada a los muros, ventanas, suelo y cubierta es el paquete de mejora K límite, es decir, las transmitancias térmicas de los elementos son las necesarias para cumplir estrictamente el valor de K límite impuesto en el HE1. Respecto a la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, hay que destacar que se produce una reforma en los puentes térmico, se utilizan valores inferiores de transmitancia térmica lineal. El valor de ACH equivalente utilizado es prácticamente el exigido para las viviendas del tipo Passivhouse Por último, la ventilación nocturna y el factor solar son los valores inicial Es despreciable la demanda de refrigeración, por ello no es económicamente rentable realizar reformas en el edificio que disminuyan la demanda de refrigeración.

2.11. Análisis de resultados

A continuación, se pretende hacer una comparativa entre los resultados obtenidos para los tipos de edificios en los diferentes climas. El objetivo es ver la influencia del tipo de edificio y clima en la elección del paquete de medidas óptima (a nivel energético y económico). También se pone de manifiesto como varían las necesidades en función del tipo de vivienda, ya que, tanto el bloque entremedianeras como la vivienda unifamiliar poseen las mismas calidades constructivas. La diferencia existe en la geometrías y superficie expuesta a la radiación.

En primer lugar, se muestra una tabla con las demandas de refrigeración y de calefacción de los edificios en el caso inicial i ene caso final.

En segundo lugar, se muestra una tabla que recoge todos los casos óptimos. Después se procede al análisis de datos.

Edificio	Inicial [kWh/m ²]		Final [kWh/m ²]		Porcentaje de reducción (refrigeración) (%)	Porcentaje de reducción (calefacción)(%)
	D ref.	D cal.	D ref.	D. cal		
Entremedianeras A4	22.21	14.31	1.60	1.55	92.80	89.17
Entremedianeras B4	22.05	25.63	1.63	3.15	92.61	87.71
Entremedianeras C3	14.04	55.43	0.33	5.73	97.65	89.66
Entremedianeras D3	14.14	83.69	0.34	7.91	97.60	90.55
Entremedianeras E1	1.30	112.47	-	12.14	-	89.21
Unifamiliar A4	42.18	48.27	3.69	4.37	91.25	90.95
Unifamiliar B4	41.41	76.75	3.30	8.51	92.03	88.91
Unifamiliar C3	26.21	141.10	0.56	16.39	97.86	88.38
Unifamiliar D3	26.27	201.38	0.52	24.44	98.02	87.86
Unifamiliar E1	2.38	261.23	-	29.41	-	88.74

Tabla 49. Comparativa entre demandas iniciales de los edificios y demandas finales.

Estudio de alternativas de mejoras de la demanda e influencia de la variación de la temperatura de consigna para diferentes tipologías de edificios en España

BLOQUE ENTREMEDIANERAS SUR														
CLIMA	Umuros	Ucubiertas	Usuelo	Uventana	Phi-L	ACH eq	g inv	g ver NORTE	g ver ESTE	g ver SUR	g ver OESTE	ACH noc	DCAL	DREF
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	307.82	0.63	0.68	0.68	0.00	0.68	0.00	4	-	-
A4	0.41	0.31	0.47	2.88	307.82	0.63	0.68	0.10	0.00	0.10	0.00	15.00	1.55	1.60
B4	0.42	0.33	0.44	2.61	307.82	0.63	0.68	0.10	0.00	0.10	0.00	15.00	3.15	1.63
C3	0.34	0.28	0.36	2.20	76.41	0.63	0.68	0.10	0.00	0.10	0.00	15.00	5.73	0.33
D3	0.30	0.25	0.30	1.85	76.41	0.63	0.68	0.10	0.00	0.10	0.00	15.00	7.91	0.34
E1	0.28	0.24	0.28	1.66	76.41	0.63	0.68	0.68	0.00	0.68	0.00	4.00	12.14	4.19
VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA														
Inicial	1.57	3.30	2.47	5.70	57.82	0.63	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	4	-	-
A4	0.50	0.37	0.54	3.10	57.82	0.63	0.74	0.08	0.08	0.08	0.08	15.00	4.37	3.69
B4	0.47	0.37	0.48	2.77	57.82	0.63	0.74	0.08	0.08	0.08	0.08	15.00	8.51	3.30
C3	0.34	0.28	0.36	2.20	57.82	0.63	0.74	0.08	0.08	0.08	0.08	15.00	16.39	0.56
D3	0.30	0.25	0.30	1.85	57.82	0.63	0.74	0.08	0.08	0.08	0.08	15.00	24.44	0.52
E1	0.25	0.21	0.25	1.46	57.82	0.63	0.74	0.74	0.08	0.08	0.08	4.00	29.41	6.07

Tabla 50. Medidas utilizadas en cada edificio.

En los siguientes puntos se muestran un análisis de resultados de los datos obtenidos para el bloque entremedianeras:

- Se observa cómo el óptimo asociado a los niveles de aislamiento en envuelta indica la necesidad de aumentar el espesor de aislante necesario a medida que aumentan los GD de calefacción (climas más fríos).
- Respecto a la estanqueidad en todos los climas se utiliza prácticamente el valor de referencia para las Passivehouse.
- El parámetro óptimo de factor solar utilizado en los climas con mayor demanda de refrigeración es el valor de alta eficiencia. Este valor es menor al exigido en el CTE. Por el contrario, para el clima E1 donde la demanda de refrigeración es muy baja el factor solar utilizado es el inicial
- Los valores de transmitancia térmica lineal utilizado para los climas con menores demandas son los iniciales, sin embargo, para climas más fríos (en los climas C3, D3 y E1), con mayores demandas energéticas, se utiliza los valores mínimos de transmitancias propuestos.
- Finalmente, como resulta esperable, en los climas de refrigeración más severa, las renovaciones hora nocturnas óptimas a incluir en el edificio son de 15 renovaciones hora y de 4 renovaciones hora (mínimo valor estudiado) en el clima de refrigeración menos severo (E1).

Ahora se procede a analizar los datos obtenidos para viviendas unifamiliares.

- En las viviendas unifamiliares, de igual manera que en bloque entremedianeras, niveles de aislamiento en envuelta indica la necesidad de aumentar el espesor de aislante necesario a medida que aumentan los GD de calefacción (climas más fríos).
- El factor solar es el valor exigido por la normativa. Para el clima E1, con escasa demanda de refrigeración, se utiliza un factor solar menor.
- Los puentes térmicos no se someten a ningún tipo de mejora, quedando igual que en la situación inicial. No es rentable el sobre coste asociado a la mejora de los puentes térmico, ya que la demanda no se reduce tanto como para compensar la inversión inicial.
- La estanqueidad del edificio también se mejora hasta prácticamente la situación de las Passivhouse.
- Por último, al igual que ocurría en el bloque entremedianeras, el valor de las ventilaciones nocturnas es el mayor posible para los climas con demanda mayor demanda de refrigeración, y por el contrario, en el clima E1 se toma un valor inferior, no siendo relevante la refrigeración en este clima.

3 ESTUDIO ENERGÉTICO DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CONSIGNA

En este capítulo nos disponemos a estudiar cómo afecta el aumento de la temperatura de consigna de los edificios en verano y la reducción en invierno. En los edificios anteriormente descritos, los cálculos de demandas y por tanto consumos se realizan aplicando una temperatura de consigna de 25°C para el verano y de 20°C en invierno.

Suponiendo que se dispone de los edificio anteriores se plantea la cuestión de cómo afecta a la relajación de los valores de consigna hasta 19°C en invierno y 27°C en verano. Estudiaremos como varía la demanda, el consumo y el coste de ciclo de vida de los edificios, ignorando la única desventaja, el malestar térmico que se podría producir.

La elección de los parámetros anteriores se debe a las medidas publicadas por en el gobierno de España en el Real Decreto-Ley 14/2022, de 1 agosto, en el que se plantean una serie de medidas de ahorro, eficiencia energética y de la reducción de la dependencia energética del gas natural. En este Real Decreto-Ley se obliga a la sanción a las modificaciones de las temperaturas de consigna en una serie de establecimientos. Aunque no es de obligado cumplimiento en residenciales privados, este estudio se realiza en este tipo de viviendas con el fin de informar al consumidos sobre las ventajas de aplicar esta medida por sus propios medios.

Los resultados obtenidos en los diez casos estudiados se mostrarán en tres tablas:

- Variación de la demanda.
- Variación del consumo.
- Variación del Coste del Ciclo de Vidas.

3.1. Resultados obtenidos.

En primer lugar, se muestra una tabla con la disminución de las demandas de calefacción y refrigeración.

Edificio	Inicial (20º-25º) [kWh/m2]		Final (19º-27º) [kWh/m2]		Porcentaje de reducción (refrigeración)(%)	Porcentaje de reducción (calefacción)(%)
	D ref.	D cal.	D ref.	D. cal		
Entremedianeras A4	1.60	1.55	0.93	0.83	41.88	46.45
Entremedianeras B4	1.63	3.15	0.87	1.97	46.63	37.46
Entremedianeras C3	0.33	5.73	0.20	4.14	39.39	27.75
Entremedianeras D3	0.34	7.91	0.22	6.22	35.29	21.37
Entremedianeras E1	4.19	12.14	3.61	10.86	13.84	10.54
Unifamiliar A4	3.69	4.37	1.54	2.43	58.27	44.39
Unifamiliar B4	3.30	8.51	1.39	5.67	57.88	33.37
Unifamiliar C3	0.56	16.39	0.21	12.58	62.50	23.25
Unifamiliar D3	0.52	24.44	0.42	20.35	19.23	16.73
Unifamiliar E1	6.07	29.41	4.61	25.11	24.05	14.62

Tabla 51.Comparativas entre demandas para las distintas temperaturas de consignas.

A continuación, una tala con la comparativa entre los consumos según las distintas temperaturas de consigna:

Edificio	Inicial (20º-25º) [kWh/m2]		Final (19º-27º) [kWh/m2]		Porcentaje de reducción (refrigeración)(%)	Porcentaje de reducción (calefacción)(%)
	Consumo E.P. Total	Consumo E.P. No ren	Consumo E.P. Total	Consumo E.P. No ren		
Entremedianeras A4	8.76	7.98	7.23	6.77	17.47	15.16
Entremedianeras B4	10.81	10.02	8.63	8.19	20.17	18.26
Entremedianeras C3	13.12	12.91	11.00	10.86	16.16	15.88
Entremedianeras D3	15.82	15.59	13.60	13.44	14.03	13.79
Entremedianeras E1	25.12	23.08	21.79	20.07	13.26	13.04
Unifamiliar A4	9.42	7.67	4.97	4.23	47.24	44.85
Unifamiliar B4	14.22	12.64	8.67	8.19	39.03	35.21
Unifamiliar C3	21.55	21.21	16.45	16.29	23.67	23.20
Unifamiliar D3	31.57	31.20	26.36	26.06	16.50	16.47
Unifamiliar E1	43.05	40.07	36.29	34.01	15.70	15.12

Tabla 52.Comparativas entre consumos para las distintas temperaturas de consignas

Por último, se adjunta tabla con el Coste del Ciclo de vida comparando la situación de temperatura de consigna 25°C y 20°C; y la nueva situación de 27° y 19°.

Edificio	CCV [k€]		Porcentaje de reducción (%)
	Inicial (20º-25º)	Final (19º-27º)	
Entremedianeras A4	58.14	55.19	5.07
Entremedianeras B4	62.54	58.48	6.49
Entremedianeras C3	72.56	69.11	4.75
Entremedianeras D3	80.05	76.47	4.47
Entremedianeras E1	81.14	75.37	7.11
Unifamiliar A4	7.42	4.96	33.18
Unifamiliar B4	8.29	7.46	10.02
Unifamiliar C3	9.96	9.27	6.94
Unifamiliar D3	11.86	11.17	5.80
Unifamiliar E1	12.36	11.37	7.99

Tabla 53. Comparativa entre CCV para las diferentes temperaturas de consigna.

3.2. Análisis de resultados

Ahora se procede a analizar los datos obtenidos anteriormente. Los resultados obtenidos son los esperados ya que se muestra una reducción de los consumos y, por tanto, del coste del CVV de todos los edificios. A cambio de esta reducción económica y energética se produce un menor confort térmico en las estancias que se encuentren a la nueva temperatura de consigna.

De los resultados se observa como esta medida no afecta de igual forma a los diferentes climas repartidos por España. Los mayores porcentajes de reducción de los consumos se dan en climas cálidos con una alta demanda de refrigeración. Esto se debe a que la temperatura de consigna en el régimen de verano se ha aumentado 2°C y en régimen de invierno solo se disminuye 1°. Por ello en climas con alta de manda de refrigeración es más apreciable la variación de GD.

Se observa que la disminución de la demanda de calefacción es mayor que el consumo de energía primaria. Esto se debe a que el consumo de energía no es proporcional a la demanda de refrigeración y calefacción. El consumo de energía primaria también incluye la energía requerida para ACS, por este hecho el efecto del ahorro aparece más amortiguado.

Con carácter general los ahorros de energía y económicos son bastante similares entre el bloque entremedianeras y la vivienda unifamiliar, con ello llegamos a la conclusión de que la geometría del edificio con es un valor determinante en el ahorro económico que suponen las nuevas temperaturas de consigna. Por ello, esta medida de mejora es aplicable en cualquier tipo de edificio y, a priori, el ahorro económico será muy similar.

4. CONCLUSIONES

Hoy en día nos enfrentamos a una crisis energética sin precedentes. El consumo de energía cada vez es mayor y esto provoca serios problemas ambientales y económicos. Por ello, es importante concienciar para reducir las emisiones de gases y el consumo.

En nuestro país la demanda energética en los edificios es muy alta debido a las anticuadas características constructivas de estos. En el presente proyecto se justifica que cualquier edificio puede llegar a ser eficiente si se lleva a cabo una rehabilitación correcta. Una rehabilitación de las calidades constructivas y la utilización de fuentes de energía renovable pueden convertir un edificio ineficiente en una edificación de consumo casi nulo. Además, de ser factible tecnológicamente, también lo es económica mente, ya que supone una reducción del Coste del Ciclo de Vida.

Otro parámetro de estudio para justificar el ahorro energético es la variación de las temperaturas de consigna. Como se ha observado un pequeño sacrificio de confort por parte del consumidor supone una gran disminución del consumo energético en viviendas.

En conclusión, la mejora de la eficiencia energética y la disminución del consumo son posible. Y siguiendo las guías impuestas por las normativas españolas se puede llegar a obtener un parque inmobiliario más moderno y eficiente, y como consecuencia llegar a uno situación de compromiso con el medio ambiente y de ahorro económico.

ANEXO I ZONAS CLIMÁTICAS

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																							
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	251 - 300 m	≥ 301 m
Albacete	C3							D3							E1									
Alicante/Alacant	B4			C3				D3																
Almería	A4	B4		B3			C3				D3													
Araba/Alava	D1							E1																
Asturias	C1	D1					E1																	
Ávila	D2					D1				E1														
Badajoz	C4				C3			D3																
Balears, Illes	B3			C3																				
Barcelona	C2		D2			D1			E1															
Bizkaia	C1		D1																					
Burgos	D1					E1																		
Cáceres	C4				D3				E1															
Cádiz	A3		B3			C3		C2			D2													
Cantabria	C1		D1					E1																
Castellón/Castelló	B3		C3				D3		D2			E1												
Ceuta	B3																							
Ciudad Real	C4				C3			D3																
Córdoba	B4		C4			D3																		
Coruña, A	C1		D1																					
Cuenca	D3					D2				E1														
Gipuzkoa	D1				E1																			
Girona	C2		D2			E1																		
Granada	A4	B4			C4			C3		D3			E1											
Guadalajara	D3										D2		E1											
Huelva	A4	B4	B3			C3				D3														
Huesca	C3		D3			D2			E1															
Jaén	B4				C4			D3			E1													
León	E1																							
Lleida	C3		D3			E1																		
Lugo	D1					E1																		
Madrid	C3				D3			D2		E1														
Málaga	A3	B3		C3				D3																
Melilla	A3																							
Murcia	B3		C3			D3																		
Navarra	C2		D2		D1			E1																
Ourense	C3		C2		D2			E1																
Palencia	D1					E1																		
Palmas, Las	α3				A2			B2			C2													
Pontevedra	C1			D1																				
Rioja, La	C2		D2				E1																	
Salamanca	D2					E1																		
Santa Cruz de Tenerife	α3				A2			B2			C2													
Segovia	D2					E1																		
Sevilla	B4			C4																				
Soria	D2				D1		E1																	
Tarragona	B3		C3			D3																		
Teruel	C3				C2		D2			E1														
Toledo	C4				D3																			
Valencia/València	B3		C3			D2				E1														
Valladolid	D2					E1																		
Zamora	D2					E1																		
Zaragoza	C3			D3				E1																
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	251 - 300 m	≥ 301 m

ANEXO II. CÁLCULO DEMANDA DE ACS

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ACS

La demanda de ACS se calcula según lo establecido en el CTE. Para uso residencial privado el consumo de agua a 60 °C es de 28 l/día·persona. Su ponemos que el bloque entremedianeras tiene una ocupación de 37 personas y la vivienda unifamiliar aislada de 3 personas.

Conocidos los litro/día de una edificación, hay que aplicar un coeficiente de centralización (Fc) que corrige las pérdidas por distribución, acumulación y recirculación. A continuación, se muestra una tabla sacada del DB-HE que muestra el coeficiente de centralización para viviendas multifamiliares.

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Para la vivienda unifamiliar el coeficiente es 1, y para el caso del bloque entremedianeras de 0.9.

Debemos calcular la demanda energética de energía no renovable para producir el ACS necesaria. El 70% de la demanda energética la suministran fuentes renovables, por tanto, la ecuación para el cálculo de la demanda no renovable es la siguiente:

$$Q_{nr} = \rho_a \cdot C_p \cdot n_{per} \cdot 28 \frac{l}{día \cdot pers} \cdot F_c \cdot (T_{ac} - T_{af}) \cdot n_{días} \cdot 0,3$$

$$\rho_a = \text{Densidad del agua}, 1 \frac{L}{kg}$$

$$C_p = \text{Calor específico del agua}, 4180 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$n_{per} = \text{Número de peronas(ocupación)}.$$

$$T_{ac} = \text{Temperatura del agua caliente}, 60 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$T_{af} = \text{Temperatura del agua de la red. Valores del Anexo III.}$$

$$n_{días} = \text{Número de días del mes.}$$

$$F_c = \text{Factor de centralización.}$$

A continuación, se muestran las demandas energéticas de las distintas situaciones:

- Bloque entremedianeras Sur, clima A4.

ALMERIA	Tagua,red	dT	L/dia	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	12	48	932,4	31	28904,4	5799378,82	1610,94	1,30	0,39
Febrero	12.00	48	932,4	28.00	26107,2	5238148,61	1455,04	1,18	0,35
Marzo	13	47	932,4	31	28904,4	5678558,42	1577,38	1,28	0,38
Abril	14.00	46	932,4	30.00	27972.00	5378456,16	1494,02	1,21	0,36
Mayo	16	44	932,4	31	28904,4	5316097,25	1476,69	1,19	0,36
Junio	18.00	42	932,4	30.00	27972.00	4910764,32	1364,10	1,10	0,33
Julio	20	40	932,4	31	28904,4	4832815,68	1342,45	1,09	0,33
Agosto	21.00	39	932,4	31.00	28904,4	4711995,29	1308,89	1,06	0,32
Septiembre	19	41	932,4	30	27972	4793841,36	1331,62	1,08	0,32
Octubre	17.00	43	932,4	31.00	28904,4	5195276,86	1443,13	1,17	0,35
Noviembre	14	46	932,4	30	27972	5378456,16	1494,02	1,21	0,36
Diciembre	12.00	48	932,4	31.00	28904,4	5799378,82	1610,94	1,30	0,39
								SUMA	4,25

- Bloque entremedianeras Sur, clima B4.

SEVILLA	Tagua,red	dT	L/dia	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	11	49	932.4	31	28904.40	5920199.21	1644.50	1.33	0.40
Febrero	11	49	932.4	28	26107.20	5347276.70	1485.35	1.20	0.36
Marzo	13	47	932.4	31	28904.40	5678558.42	1577.38	1.28	0.38
Abril	14	46	932.4	30	27972.00	5378456.16	1494.02	1.21	0.36
Mayo	16	44	932.4	31	28904.40	5316097.25	1476.69	1.19	0.36
Junio	19	41	932.4	30	27972.00	4793841.36	1331.62	1.08	0.32
Julio	21	39	932.4	31	28904.40	4711995.29	1308.89	1.06	0.32
Agosto	21	39	932.4	31	28904.40	4711995.29	1308.89	1.06	0.32
Septiembre	20	40	932.4	30	27972.00	4676918.40	1299.14	1.05	0.32
Octubre	16	44	932.4	31	28904.40	5316097.25	1476.69	1.19	0.36
Noviembre	13	47	932.4	30	27972.00	5495379.12	1526.49	1.24	0.37
Diciembre	11	49	932.4	31	28904.40	5920199.21	1644.50	1.33	0.40
								SUMA	4.27

- Bloque entremedianeras Sur, clima C3.

MADRID	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	8	52	932,4	31	28904,4	6282660,38	1745,18	1,41	0,42
Febrero	8.00	52.00	932,4	28.00	26107,2	5674660,99	1576,29	1,28	0,38
Marzo	10	50	932,4	31	28904,4	6041019,60	1678,06	1,36	0,41
Abril	12.00	48.00	932,4	30.00	27972.00	5612302,08	1558,97	1,26	0,38
Mayo	14	46	932,4	31	28904,4	5557738,03	1543,82	1,25	0,37
Junio	17.00	43.00	932,4	30.00	27972.00	5027687,28	1396,58	1,13	0,34
Julio	20	40	932,4	31	28904,4	4832815,68	1342,45	1,09	0,33
Agosto	19.00	41.00	932,4	31.00	28904,4	4953636,07	1376,01	1,11	0,33
Septiembre	17	43	932,4	30	27972	5027687,28	1396,58	1,13	0,34
Octubre	13.00	47.00	932,4	31.00	28904,4	5678558,42	1577,38	1,28	0,38
Noviembre	10	50	932,4	30	27972	5846148,00	1623,93	1,31	0,39
Diciembre	8.00	52.00	932,4	31.00	28904,4	6282660,38	1745,18	1,41	0,42
SUMA									4,50

- Bloque entremedianeras Sur, clima D3.

GRANADA	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	8	52	932.4	31	28904.40	6282660.38	1745.18	1.41	0.42
Febrero	9	51	932.4	28	26107.20	5565532.90	1545.98	1.25	0.38
Marzo	10	50	932.4	31	28904.40	6041019.60	1678.06	1.36	0.41
Abril	12	48	932.4	30	27972.00	5612302.08	1558.97	1.26	0.38
Mayo	14	46	932.4	31	28904.40	5557738.03	1543.82	1.25	0.37
Junio	17	43	932.4	30	27972.00	5027687.28	1396.58	1.13	0.34
Julio	20	40	932.4	31	28904.40	4832815.68	1342.45	1.09	0.33
Agosto	19	41	932.4	31	28904.40	4953636.07	1376.01	1.11	0.33
Septiembre	17	43	932.4	30	27972.00	5027687.28	1396.58	1.13	0.34
Octubre	14	46	932.4	31	28904.40	5557738.03	1543.82	1.25	0.37
Noviembre	11	49	932.4	30	27972.00	5729225.04	1591.45	1.29	0.39
Diciembre	8	52	932.4	31	28904.40	6282660.38	1745.18	1.41	0.42
SUMA									4.48

- Bloque entremedianeras Sur, clima E1.

BURGOS	Tagua,red	dT	L/dia	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	5	55	932.4	31	28904.40	6645121.56	1845.87	1.49	0.45
Febrero	6	54	932.4	28	26107.20	5892917.18	1636.92	1.32	0.40
Marzo	7	53	932.4	31	28904.40	6403480.78	1778.74	1.44	0.43
Abril	9	51	932.4	30	27972.00	5963070.96	1656.41	1.34	0.40
Mayo	11	49	932.4	31	28904.40	5920199.21	1644.50	1.33	0.40
Junio	13	47	932.4	30	27972.00	5495379.12	1526.49	1.24	0.37
Julio	16	44	932.4	31	28904.40	5316097.25	1476.69	1.19	0.36
Agosto	16	44	932.4	31	28904.40	5316097.25	1476.69	1.19	0.36
Septiembre	14	46	932.4	30	27972.00	5378456.16	1494.02	1.21	0.36
Octubre	11	49	932.4	31	28904.40	5920199.21	1644.50	1.33	0.40
Noviembre	7	53	932.4	30	27972.00	6196916.88	1721.37	1.39	0.42
Diciembre	6	54	932.4	31	28904.40	6524301.17	1812.31	1.47	0.44
								SUMA	4.79

- Vivienda unifamiliar aislada, clima A4.

ALMERIA	Tagua,red	dT	L/dia	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	12.00	48.00	84.00	31.00	2604.00	522466.56	145.13	0.12	0.04
Febrero	12.00	48.00	84.00	28.00	2352.00	471905.28	131.08	0.11	0.03
Marzo	13.00	47.00	84.00	31.00	2604.00	511581.84	142.11	0.11	0.03
Abril	14.00	46.00	84.00	30.00	2520.00	484545.60	134.60	0.11	0.03
Mayo	16.00	44.00	84.00	31.00	2604.00	478927.68	133.04	0.11	0.03
Junio	18.00	42.00	84.00	30.00	2520.00	442411.20	122.89	0.10	0.03
Julio	20.00	40.00	84.00	31.00	2604.00	435388.80	120.94	0.10	0.03
Agosto	21.00	39.00	84.00	31.00	2604.00	424504.08	117.92	0.10	0.03
Septiembre	19.00	41.00	84.00	30.00	2520.00	431877.60	119.97	0.10	0.03
Octubre	17.00	43.00	84.00	31.00	2604.00	468042.96	130.01	0.11	0.03
Noviembre	14.00	46.00	84.00	30.00	2520.00	484545.60	134.60	0.11	0.03
Diciembre	12.00	48.00	84.00	31.00	2604.00	522466.56	145.13	0.12	0.04
								SUMA	0.38

- Vivienda unifamiliar aislada, clima B4.

SEVILLA	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qren [kWh/m2]
Enero	11	49	84	31	2604	533351,28	148,15	0,12	0,04
Febrero	11.00	49.00	84.00	28.00	2352.00	481736,64	133,82	0,11	0,03
Marzo	13	47	84	31	2604	511581,84	142,11	0,11	0,03
Abril	14.00	46.00	84.00	30.00	2520.00	484545,60	134,60	0,11	0,03
Mayo	16	44	84	31	2604	478927,68	133,04	0,11	0,03
Junio	19.00	41.00	84.00	30.00	2520.00	431877,60	119,97	0,10	0,03
Julio	21	39	84	31	2604	424504,08	117,92	0,10	0,03
Agosto	21.00	39.00	84.00	31.00	2604.00	424504,08	117,92	0,10	0,03
Septiembre	20	40	84	30	2520	421344,00	117,04	0,09	0,03
Octubre	16.00	44.00	84.00	31.00	2604.00	478927,68	133,04	0,11	0,03
Noviembre	13	47	84	30	2520	495079,20	137,52	0,11	0,03
Diciembre	11.00	49.00	84.00	31.00	2604.00	533351,28	148,15	0,12	0,04
								SUMA	0,38

- Vivienda unifamiliar aislada, clima C3.

MADRID	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qren [kWh/m2]
Enero	8	52	84	31	2604	566005,44	157,22	0,13	0,04
Febrero	8.00	52.00	84.00	28.00	2352.00	511230,72	142,01	0,11	0,03
Marzo	10	50	84	31	2604	544236,00	151,18	0,12	0,04
Abril	12.00	48.00	84.00	30.00	2520.00	505612,80	140,45	0,11	0,03
Mayo	14	46	84	31	2604	500697,12	139,08	0,11	0,03
Junio	17.00	43.00	84.00	30.00	2520.00	452944,80	125,82	0,10	0,03
Julio	20	40	84	31	2604	435388,80	120,94	0,10	0,03
Agosto	19.00	41.00	84.00	31.00	2604.00	446273,52	123,96	0,10	0,03
Septiembre	17	43	84	30	2520	452944,80	125,82	0,10	0,03
Octubre	13.00	47.00	84.00	31.00	2604.00	511581,84	142,11	0,11	0,03
Noviembre	10	50	84	30	2520	526680,00	146,30	0,12	0,04
Diciembre	8.00	52.00	84.00	31.00	2604.00	566005,44	157,22	0,13	0,04
								SUMA	0,41

- Vivienda unifamiliar aislada, clima D3.

GRANADA	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	8	52	84	31	2604	566005,44	157,22	0,13	0,04
Febrero	9.00	51.00	84.00	28.00	2352.00	501399,36	139,28	0,11	0,03
Marzo	10	50	84	31	2604	544236,00	151,18	0,12	0,04
Abril	12.00	48.00	84.00	30.00	2520.00	505612,80	140,45	0,11	0,03
Mayo	14	46	84	31	2604	500697,12	139,08	0,11	0,03
Junio	17.00	43.00	84.00	30.00	2520.00	452944,80	125,82	0,10	0,03
Julio	20	40	84	31	2604	435388,80	120,94	0,10	0,03
Agosto	19.00	41.00	84.00	31.00	2604.00	446273,52	123,96	0,10	0,03
Septiembre	17	43	84	30	2520	452944,80	125,82	0,10	0,03
Octubre	14.00	46.00	84.00	31.00	2604.00	500697,12	139,08	0,11	0,03
Noviembre	11	49	84	30	2520	516146,40	143,37	0,12	0,03
Diciembre	8.00	52.00	84.00	31.00	2604.00	566005,44	157,22	0,13	0,04
SUMA									0,40

BURGOS	Tagua,red	dT	L/día	días mes	V [l/mes]	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]	W [kWh/m2]	Qnren [kWh/m2]
Enero	5	55	84	31	2604	598659,60	166,29	0,13	0,04
Febrero	6.00	54.00	84.00	28.00	2352.00	530893,44	147,47	0,12	0,04
Marzo	7	53	84	31	2604	576890,16	160,25	0,13	0,04
Abril	9.00	51.00	84.00	30.00	2520.00	537213,60	149,23	0,12	0,04
Mayo	11	49	84	31	2604	533351,28	148,15	0,12	0,04
Junio	13.00	47.00	84.00	30.00	2520.00	495079,20	137,52	0,11	0,03
Julio	16	44	84	31	2604	478927,68	133,04	0,11	0,03
Agosto	16.00	44.00	84.00	31.00	2604.00	478927,68	133,04	0,11	0,03
Septiembre	14	46	84	30	2520	484545,60	134,60	0,11	0,03
Octubre	11.00	49.00	84.00	31.00	2604.00	533351,28	148,15	0,12	0,04
Noviembre	7	53	84	30	2520	558280,80	155,08	0,13	0,04
Diciembre	6.00	54.00	84.00	31.00	2604.00	587774,88	163,27	0,13	0,04
SUMA									0,43

- Vivienda unifamiliar aislada, clima E1.

ANEXO III. TEMPERATURA DE AGUA DE RED

Las temperaturas diaria media mensual (°C) del agua fría de la red se han tomado del DB-HE- Los valores se muestran en la siguiente tabla.

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
A Coruña	26	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	8	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1131	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	6	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	929	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	459	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	14	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	27	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	40	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	628	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	106	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	999	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	70	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	683	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	685	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	30	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	568	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	13	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	182	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	385	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	11	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	15	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	39	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	734	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	15	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña	490	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	27	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	12	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	5	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	11	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	1002	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	69	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	912	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	629	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	698	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	540	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	199	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, «DIRECTIVA 2010/31/UE,» 2010.

- [2] Ministerio de fomento, «Documento Básico de Ahorro de Energía,» 2022.

- [3] «Edificios NZEB en España: Definición, Propiedades y Normativa,» [En línea]. Available: <https://inarquia.es/edificios-de-consumo-de-energia-casi-nulo-nzeb-en-espana-definicion-propiedades-y-normativa/>. [Último acceso: 5 12 2021].

- [4] J. Sánchez Ramos, M. Guerrero Delgadp, S. Álvarez Domínguez, J. Molina Félix, F. Sánchez de la Flor y J. Tenorio Ríos, «Systematic Simplified Simulation Methodology for Deep Energy Retrofitting Towards Nze Targets Using Life Cycle Energy Assessment,» 2019.

- [5] CENER, «Transfromación de edificios existentes hacia edificios de consumo casi nulo.,» 2014.

- [6] B. Roca Villanueva, M. Beltrán Salvador y R. Gómez Huelgas, «Cambio climático y salud,» p. 6, 2018.

- [7] Comisión Europea , «Un Pacto Verde Europeo,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_es. [Último acceso: 15 12 2021].

- [8] PARLAMENTO EUROPEO, «DIRECTIVA (UE) 2018/844,» 2018.

- [9] G. D. Velarde, «El Gobierno da una semana a las empresas para implantar el plan de ahorro energético y pondrá multas a las que incumplan,» *ABC*, 01 08 2022.

- [10] J. Salmerón Lissen, C. Jareño Escudero, F. Sánchez de la Flor, M. Navarro Escudero y M.-N. A. Karlessi, «Optimal Renovation Strategies through Life-Cycle Analysis in a Pilot Building Located in a Mild Mediterranean Climate,» 2021.
- [11] A. Cerezo-Narváez, J. Pinero Vilela, E. Rodríguez Jara, M. Otero Mateo, A. Pastor Fernández y P. Ballesteros Pérez, «Energy, emissions and economic impact of the new nZEB regulatory framework on residential buildings renovation: Case study in southern Spain,» 2021.