

# LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA TRADICIONAL MEDITERRÁNEA Y LOS OBJETIVOS DEL H2020



M<sup>a</sup> Dolores Porras Pavón

GRADO EN FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA

TUTOR: Juan José Sendra Salas

CURSO: 2015/16

TFG I



<b>ÍNDICE.....</b>	<b>1</b>
0. Resumen y palabras clave.....	2
1. Introducción.....	3
1.0 Antecedentes y objetivos de la Unión Europea para el año 2020 y el marco normativo.....	3-8
1.1 Objetivos generales y específicos.....	8
1.2 Estado del arte.....	8-10
2. Desarrollo caso de estudio.....	10
2.0 Introducción.....	10-11
2.1 Definición manzana y caracterización.....	11-13
2.2 Metodología usada en el trabajo.....	14
2.3 Sistemas Constructivos.....	14-21
2.4 Hipótesis.....	21-35
2.5 Simulación de demanda, consumo de energía final, consumo de energía primaria, emisiones de CO <sub>2</sub> y calificación energética de las hipótesis. Discusión de resultados..... + <i>fichas modelos.</i>	35-40
3. Conclusiones.....	41-42
4. Ideas para ampliar el trabajo desarrollado.....	43
5. Bibliografía y listado de citas.....	44-46
6. Listado de figuras.....	47-51

## **0. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE**

### **RESUMEN**

En este trabajo fin de grado, en primer lugar se realiza un estudio de la normativa actual existente que afecta a la rehabilitación energética y de los objetivos de la Unión Europea para el año 2020.

En segundo lugar, se desarrolla el caso de estudio. Este caso de estudio es un ejemplo de una vivienda típica tradicional mediterránea del área rural de nuestro país. Con ella se pretende conocer si es posible acercar este tipo de viviendas a los objetivos del H2020. Para saber si es posible este acercamiento, se crean modelos informáticos en los que se rehabilita energéticamente la vivienda.

En tercer lugar, se lleva a cabo un estudio de las diferentes soluciones constructivas de manera pasiva, que existen en la actualidad para la rehabilitación energética de este tipo de viviendas y se eligen las soluciones más adecuadas para utilizar en este caso concreto, centrándonos principalmente en la envolvente térmica de la edificación.

Más tarde, se realiza un modelo informático real de la vivienda en la actualidad y se van generando nuevos modelos energéticos en los que se establecen una serie de hipótesis simples y compuestas (de las soluciones constructivas que se entienden más adecuadas para la vivienda) y de aquí se obtiene la simulación de la demanda, el consumo de energía final, el consumo de energía primaria, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la calificación energética de cada modelo.

Finalmente se concluye, que es posible y de manera muy sencilla acercar la vivienda típica tradicional mediterránea a los objetivos del H2020 a través de medios pasivos. Y que actualmente es posible cumplir la normativa existente sin la necesidad de utilización de sistemas activos de climatización utilizando las soluciones constructivas adecuadas.

### **PALABRAS CLAVE**

Rehabilitación energética, vivienda tradicional mediterránea, H2020, modelos energéticos, sistemas constructivos, eficiencia energética, consumos, demandas, calificación energética.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la situación actual que nos encontramos en España, sin un gobierno definido, intentando salir de la crisis económica, una tasa de paro de más del 20 por ciento[1], siempre nos hemos preguntado si la eficiencia energética y los objetivos del H2020 eran una ilusión o realmente se estaban llevando a cabo aquí y en el resto de Europa, esto es uno de los motivos que nos lleva a realizar este trabajo. Porque en la etapa que vivimos, habrá personas que vean mayores prioridades en otras cuestiones que no sean el medioambiente, pero el cambio climático es real y está ocurriendo ahora mismo; es la amenaza más urgente que afronta nuestra especie.

En esta investigación se abordan cuestiones medioambientales que tengan que ver con la arquitectura, para poder aportar y estudiar soluciones que eviten el cambio climático. Por ello, se lleva a cabo el estudio de una vivienda real, para poder observar cómo se desarrollan y se aplican a esta edificación diferentes sistemas que permitan conseguir los objetivos del H2020 en la arquitectura, más concretamente en el caso de la vivienda tradicional mediterránea. Para una vez conocidas esas técnicas o sistemas, se puedan aplicar a casos reales.

Se comienza analizando las características físicas, constructivas y ambientales de una manzana en una ciudad tradicional mediterránea (la cual será nuestro caso de estudio). Se estudian las medidas a adoptar para poder cumplir los objetivos del H2020. Y más tarde, se harán propuestas de rehabilitación energética de la vivienda del caso de estudio tendente a intentar cumplir estos objetivos y valorarlos. Para ello se crea una serie de hipótesis simples y compuestas y en ellas se observan y analizan los resultados obtenidos. En la discusión de resultados hemos optado por la creación de una ficha para cada hipótesis en la que se describe y analiza cada modelo. Estas fichas no se han introducido en un apéndice documental, ya que entendemos que son necesarias para el discurso del trabajo, para el entendimiento de los resultados y que así se consigue ver de forma más clara el proceso de análisis y de discusión de resultados.

Todo este estudio y análisis permitirá conocer si es posible acercar la vivienda tradicional mediterránea, que hasta ahora no ha tenido ninguna regularización en el tema energético, hacia los objetivos del H2020.

### **1.0 Antecedentes y objetivos de la Unión Europea para el año 2020 y el marco normativo.**

La preocupación internacional por el medio ambiente adquiere importancia en el año 1972 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano que tuvo lugar en Estocolmo. [2]

En 1983 las Naciones Unidas crean la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, esta Comisión llega a la conclusión en su Informe Brundtland, que defiende: satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. Como resultado de este informe la Asamblea General de las Naciones Unidas convoca la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en 1992 celebrada en Río de Janeiro, conocida como la Cumbre de la Tierra. En ella se fija: la Convención Marco sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y el convenio sobre la Diversidad Biológica.

En 1997 se adopta el célebre Protocolo de Kioto, en el que se acuerda reducir las emisiones un 8% (entre los países miembros de la Unión Europea).

En 2007, tras la publicación del Libro Verde [3] el Consejo Europeo promulga las primeras propuestas de normativas sobre el Mercado Interior de la Energía, denominadas vulgarmente “tercer paquete”, además del Plan Estratégico de Tecnología Energética y la Segunda Revisión Estratégica de la Energía. En 2008, Consejo y Parlamento llegan a un acuerdo sobre el “paquete verde”, es decir, sobre los tres objetivos 20 para el 2020.

El IV informe de Evaluación del Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), de 2007, concluye que la mayor parte de del incremento observado en las temperaturas medias globales se ha debido a gases de efecto invernadero. El IPCC estima que para poder estabilizar la concentración del CO<sub>2</sub>, sería necesario que los países desarrollados reduzcan en el año 2020 sus emisiones entre un 25 % y un 40% respecto a los niveles de 1990.

El protocolo de Kioto (desde 2008 a 2012) no fue ratificado por Estados Unidos, país con un gran peso en las emisiones de GEI. La conferencia de Bali de 2007, la de Poznan de 2008 y la de Copenhague de 2009, significaron la vuelta al consenso internacional.

A continuación se muestran los compromisos de la Unión Europea, los cinco objetivos para la UE en 2020 [4]:

1. Empleo
  - empleo para el 75% de las personas de 20 a 64 años
2. I+D
  - inversión del 3% del PIB de la UE en I+D
3. Cambio climático y sostenibilidad energética
  - emisiones de gases de efecto invernadero un 20% (o un 30% si se dan las condiciones) menores a los niveles de 1990
  - 20% de energías renovables
  - aumento del 20 % de la eficiencia energética
4. Educación
  - tasas de abandono escolar prematuro por debajo del 10%
  - al menos un 40% de las personas de 30 a 34 años de edad deberán completar estudios de nivel terciario
5. Luchar contra la pobreza y la exclusión social
  - reducir al menos en 20 millones el número de personas en situación o riesgo de pobreza y exclusión social

El tercer objetivo será el que más nos preocupe para la cuestión que nos acontece. Más concretamente para nuestro caso de estudio, el aumento del 20% de la eficiencia energética en edificios.

Detrás de estos objetivos, al igual que en nuestro caso de estudio, también está la noción de eficiencia. Los países deben alcanzar sus objetivos pero minimizando el coste que asumen los consumidores.

Una vez conocidos estos objetivos y el marco normativo en el que nos encontramos en Europa, se estudia la normativa en el caso español y también el marco normativo andaluz al que nos enfrentaremos en el caso de estudio.

En el caso español se han adoptado algunas medidas como el Plan de Acción 2008-2012, la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 y El Plan de Acción 2008-2012, la Ley española de las tres R: Ley 8/2013 de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas y el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020. No obstante, el campo de la eficiencia energética todavía debe desarrollarse mucho más.

Por otra parte, en Andalucía se ha promulgado la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía, además del Decreto-Ley 1/2014 del Programa de Impulso a la Construcción Sostenible en Andalucía.

A continuación, se redacta lo más trascendental de este plan para el marco español y de esta ley para Andalucía:

#### EL PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2014-2020[5]

El 2 de octubre de octubre de 2012 se aprobó la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo del Consejo relativa a la Eficiencia Energética (DEE) con el objetivo de crear un nuevo marco común para el fomento de la eficiencia energética dentro de la UE estableciendo acciones cuyo objetivo se establece en el Paquete Energía y Clima de 2007 para el año 2020 de reducción en un 20 % del consumo para los países de la UE, que se traduce en una mejora de la competitividad de la economía española que se espera tenga su reflejo en los indicadores de actividad y empleo.

Este plan incluye documento Anexo II la Estrategia Española para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación.

España adoptará, para el cumplimiento del objetivo del artículo 7 y de conformidad con lo establecido en el apartado 1 de este artículo, un sistema de obligaciones de eficiencia energética, que se aplicará con base en un sistema estandarizado de certificados de ahorro energético negociables suficientemente flexible y sencillo como para que la carga administrativa no sea elevada ni para las partes obligadas en el mismo ni para el organismo gestor.

La consecuencia de dicho objetivo es que requiere inversiones de naturaleza pública y privada de elevada magnitud en actuaciones, principalmente, de renovación de equipos y procesos en el sector industrial, de renovación de instalaciones de calefacción, climatización e iluminación del sector de la edificación o de renovación de la envolvente edificatoria, así como en medidas de uso más eficiente de los medios de transporte.

Para facilitar el cumplimiento de los ahorros derivados del sistema de obligaciones de eficiencia energética, se desarrollará un sistema estandarizado de certificaciones de ahorro energéticas, basado en un catálogo de actuaciones y ahorros asociados a cada una de esas actuaciones y medidas de eficiencia energética, cuya versión preliminar se incluirá en la actualización del “Informe sobre las medidas de actuación de ahorro y eficiencia energética en cumplimiento del artículo 7 de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética” remitido en diciembre de 2013. Dichos certificados cuya emisión y registro garantizará en todo caso la transparencia, serán negociables. El IDEA se configura como organismo certificador y gestor del sistema de certificados de ahorro energético.

La metodología a utilizar para contabilizar y comunicar a la Comisión Europea los ahorros energéticos conseguidos durante el periodo 2014-2020 es el método bottom-up, este método requiere la contabilización de las actuaciones una por una, de los ahorros conseguidos. Tiene que demostrarse, la inversión realizada en la medida de ahorro y eficiencia energética y el ahorro obtenido.

Esta ley, hoy en día, permite que si hay una mejora para la eficiencia energética del edificio no se tenga que aprobar por unanimidad, sino solo tres quintas partes del total de los propietarios.

*LEY 2/2007, DE 27 DE MARZO, DE FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y DEL AHORRO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.* [6]

En Andalucía la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro de la eficiencia energética, viene a establecer que los edificios de nueva construcción y las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que alteren la configuración arquitectónica de los edificios, deberán incorporar instalaciones solares térmicas de agua caliente, utilizando el gas preferentemente como energía auxiliar de apoyo y pudiendo ser complementadas o sustituidas por cualquier otra instalación de aprovechamiento de energía renovable, de cogeneración o de aprovechamiento de calores residuales. En este sentido, se deberán incorporar sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos en aquellos inmuebles y para aquellos usos y superficies construidas que reglamentariamente se establezcan, incorporando entre los mismos las instalaciones y edificios de uso y servicio público propiedad de la Junta de Andalucía y sus organismos autónomos. Dichas previsiones, pueden ser complementadas o sustituidas con cualquier otra instalación de aprovechamiento de energía renovable de cogeneración o de aprovechamiento de calores residuales.

En este contexto, volviendo al tema edificatorio que será el que más se desarrolle en este trabajo, el sector de la construcción ofrece grandes oportunidades de reducción de consumo energético, las mejoras en los aislamientos por ejemplo. El impacto de estas medidas va más allá de lo económico, ya que se mejora además la seguridad energética al reducir la dependencia exterior de combustibles fósiles y se contribuye a la reducción de emisiones. Algunos de los factores que se tienen que tener en cuenta para el cumplimiento de los objetivos que se han citado anteriormente y la reducción de emisiones en el caso de España son: el incremento sostenido de la demanda de energía, la elevada dependencia a los combustibles fósiles y mínimo grado de autoabastecimiento de los combustibles fósiles, en los tres casos con una mayor dependencia a la media de la Unión Europea.

En el sector edificios, los servicios que tienen un mayor peso en su consumo son: las instalaciones térmicas de calefacción, climatización, ventilación y producción de ACS, iluminación interior, más el resto de equipamientos habitual. En los edificios de viviendas españoles podemos estimar que la mitad del consumo energético se debe a la calefacción y la refrigeración [7]. Por ello son los servicios en los que se tienen que centrar nuestra mayor atención para poder hacerlos más eficientes.

El consumo energético en el sector residencial español está por debajo de la media europea, al igual que ocurre en Italia, esto puede ser debido a la climatología de estos países.

Por otra parte, de las estadísticas de la Construcción del Ministerio de Fomento, podemos decir que la rehabilitación de la vivienda en España es muy reducida, en el año 2006 alcanzó su mayor porcentaje, tan solo un 3%. Este es un porcentaje que se debe de intentar subir, ya que al rehabilitar no solo estás haciendo más eficiente energéticamente la edificación, sino que también estás

contribuyendo a que no sea necesaria la construcción de otra o el derribo de la misma, con todas las pérdidas energéticas que eso conlleva.

Las actuales políticas energéticas europeas proponen la rehabilitación para poder alcanzar los objetivos del Horizonte 2020, especialmente del parque residencial construido antes de las primeras normativas térmicas, debiendo cimentarse la mejora en eficiencia energética y confort en el conocimiento de su comportamiento energético real [8].

Más de la mitad del parque de viviendas Españolas que existen actualmente, fueron edificios construidos antes de la introducción de la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE CT 1979). Estas edificaciones tienen un bajo rendimiento energético y altas tarifas, que en la mayoría de los casos provocan la denominada “Pobreza energética”. Sus condiciones de habitabilidad y confort no cumplen con los estándares actuales de energía, por lo que presentan un gran potencial de mejora.

En la figura 1.1 se puede observar la contribución del sector de la edificación al ahorro de energía final del sistema de obligaciones de eficiencia energética, según la rehabilitación o mejora de algunas de sus características constructivas o sus equipamientos y se observa y constata el gran potencial que tiene de mejora los edificios comentados anteriormente, que constituyen más de la mitad del parque edificatorio español.

**Tabla 4.2.2.1. Contribución del sector edificación y equipamiento al objetivo de ahorro de energía final del sistema de obligaciones de eficiencia energética (Artículo 7, Directiva 2012/27/UE)**

EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO	Ahorro de energía final (ktep/año)	EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO (continuación)	Ahorro de energía final (ktep/año)
<b>EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO</b>	<b>88,01</b>	<b>EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO (continuación)</b>	<b>88,02</b>
Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes	16,28	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial existentes	2,22
Rehabilitación envolvente: Edificios públicos	2,38	Mejora eficiencia Inst. frío comercial: Edificios PYMES	0,04
Rehabilitación envolvente: Edificios PYMES	1,75	Mejora eficiencia Inst. frío comercial: Edificios gran empresa	0,10
Rehabilitación envolvente: Edificios gran empresa	4,76	Mejora eficiencia Inst. frío comercial: Edificios PYMES. Renovación de mobiliario de conservación y congelación	1,04
Rehabilitación envolvente: Edificios de viviendas	4,30	Mejora eficiencia Inst. frío comercial: Edificios gran empresa. Renovación de mobiliario de conservación y congelación	1,04
Rehabilitación envolvente: Edificios de viviendas. Renovación de ventanas	0,72	<b>Renovación de generadores de frío industrial y terciario</b>	<b>2,81</b>
Rehabilitación envolvente: Edificios de viviendas. Renovación de fachadas y cubiertas	2,37	Mejora eficiencia Inst. frío industrial y terciario: Edificios PYMES	2,50
<b>Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes</b>	<b>17,31</b>	Mejora eficiencia Inst. frío industrial y terciario: Edificios gran empresa	0,31
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Edificios públicos	1,48	<b>Mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de ascensores y otros sistemas de transporte existentes</b>	<b>7,36</b>
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Edificios PYMES	0,99	Mejora eficiencia ascensores: Edificios públicos	0,14
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Edificios gran empresa	2,17	Mejora eficiencia ascensores: Edificios PYMES	0,12
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Edificios de viviendas. Renovación de salas de calderas	3,73	Mejora eficiencia ascensores: Edificios gran empresa	0,08
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Edificios de viviendas. Renovación de calderas individuales	7,47	Mejora eficiencia ascensores: Edificios de viviendas	7,05
Mejora eficiencia Inst. térmicas: Renovación de equipos de aire acondicionado.	1,48	<b>Implantación de sistemas inteligentes en la edificación existente (domótica, inmótica, smart grids)</b>	<b>9,30</b>
<b>Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes</b>	<b>11,09</b>	Implantación inmótica: Edificios públicos	1,65
Mejora eficiencia iluminación interior: Edificios públicos	2,66	Implantación inmótica: Edificios PYMES	1,21
Mejora eficiencia iluminación interior: Edificios PYMES	1,95	Implantación inmótica: Edificios gran empresa	3,29
Mejora eficiencia iluminación interior: Edificios gran empresa	5,32	Implantación domótica: Edificios de viviendas	3,16
Mejora eficiencia iluminación interior: Edificios de viviendas	1,17	<b>Mejora de la eficiencia energética de los Centros de Proceso de Datos existentes.</b>	<b>2,37</b>
<b>Rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética</b>	<b>3,40</b>	Mejora eficiencia Centros de Proceso de Datos: Edificios públicos	0,59
Rehabilitación con alta calificación energ.: Edificios públicos	0,48	Mejora eficiencia Centros de Proceso de Datos: Edificios PYMES	0,59
Rehabilitación con alta calificación energ.: Edificios PYMES	0,35	Mejora eficiencia Centros de Proceso de Datos: Edificios gran empresa	1,18
Rehabilitación con alta calificación energ.: Edificios gran empresa	0,97	<b>Medidas de eficiencia energética en instalaciones eléctricas</b>	<b>10,64</b>
Rehabilitación con alta calificación energ.: Edificios de viviendas	1,60	<b>Renovación de electrodomésticos</b>	<b>4,29</b>
		<b>Medidas de comunicación e información</b>	<b>0,93</b>

Figura 1.1 Contribución del sector edificación y equipamiento al objetivo de ahorro de energía final del sistema de obligaciones de eficiencia energética. (Fuente: IDAE )

Por otro lado, la normativa europea sobre eficiencia energética excluye de la obligatoriedad de su cumplimiento a los edificios protegidos por su interés histórico (importante, no confundir con



rehabilitación), dando prioridad al mantenimiento de los valores que los hacen merecedores de dicha protección y dejando en manos de los Estados la posibilidad de exigirlos o no [9].

La edificación histórica presenta una complejidad a la que es ajena la arquitectura de nueva construcción, al igual que ocurre en nuestro caso de estudio, por lo que el mercado se ha centrado en proveer soluciones para esta última y son menores el número de soluciones que encontramos para la arquitectura histórica, por ello más adelante estudiaremos estas posibles soluciones.

Hay que diferenciar la motivación inicial del planteamiento energético por parte de los promotores, en función de si se pretende únicamente acreditar el estado energético del edificio a efectos de una transacción inmobiliaria, o bien si se requiere un aumento del confort ambiental, una reducción del gasto, del consumo, o de la demanda, una mejora de la relación entre el confort y el gasto, o combinaciones de estas posibilidades.

Están definidos cuáles son los objetivos, los recursos económicos y las soluciones técnicas, pero no existe tanta claridad sobre qué estrategias definir y cómo ejecutarlas, cómo incorporar a todos los agentes implicados para hacerles partícipes y protagonistas del proceso, y de manera destacada a los residentes y propietarios de los inmuebles.

En el caso de la edificación histórica, son abundantes las actuaciones en edificios con un grado de protección que permite acometer actuaciones básicas como las renovaciones de ventanas o de calderas y existen casos puntuales en los que se han ensayado actuaciones más integrales, casi siempre en inmuebles declarados bienes de interés cultural de grandes dimensiones y frecuentemente no de uso residencial.

### **1.1 Objetivos generales y específicos.**

Los objetivos generales por los que se realiza este trabajo son principalmente conocer si es posible que la vivienda tradicional mediterránea pueda cumplir los objetivos establecidos en el H2020 y de qué manera sería posible conseguir estos objetivos.

Por otra parte tenemos otros objetivos más específicos, como son los siguientes:

- Analizar las características físicas, constructivas y ambientales de una manzana en una ciudad tradicional mediterránea a través de un programa informático (caso de estudio).
- Establecer las medidas o las técnicas constructivas que existen en la actualidad para cumplir los objetivos de H2020.
- Hacer propuestas de rehabilitación energética de una vivienda para intentar cumplir esos objetivos o superarlos.

### **1.2 Estado del arte.**

Investigaciones recientes sobre edificios de viviendas protegidas en el Sur de España detectan que no hay una relación directa normalmente, entre la demanda de energía y uso real de la misma, asociado el bajo consumo a una carencia de prestaciones de confort, como ocurre en el caso de estudio. En el sector residencial es donde se produce un mayor consumo dentro del sector de la edificación, sin embargo en el sector terciario es donde habitualmente se concentran las medidas de ahorro energético, debido a la mayor intensidad de uso específico. Eso nos lleva a pensar, que debemos estudiar a fondo el sector residencial. Lo que nos conduce a realizar un estudio de un caso de vivienda tradicional mediterránea [7].

Los modelos actuales utilizados para la evaluación y calificación energética de viviendas generan unos consumos de energía mayores a los que realmente generan la vivienda, debido entre otras

cosas a que cada vez existe una menor permanencia de los usuarios en la vivienda. Por ello la próxima ley o entrada en vigor de productos dotados para la calificación energética en edificios, debería diferenciar entre edificios de nueva construcción o rehabilitados y basarse en unas premisas de eficiencia energética reales y no en procedimientos de evaluación basados en la Directiva 2002/91/CEE, que no siempre se acerca a la realidad, no es posible disponer solo de un catálogo de soluciones o establecer unas intervenciones genéricas, es necesario particularizar cualquier caso de estudio. Por lo que se tendrá en cuenta en nuestra metodología y discusión de resultados, observando la veracidad o no de los datos que introduzcamos y particularizando cada hipótesis.

Para poder estar más seguros que las evaluaciones que obtengamos a través de softwares o programas de calificación energética sean más precisas, los patrones de uso e intensidad de uso deben ser particularizados para la región sur de España y adaptarlos además a los perfiles socio-económicos.

Por otra parte, los usuarios de bajo nivel socio económico no perciben el problema energético como una prioridad, dado su poco impacto en las economías familiares, asumiendo condiciones de ambiente muy alejadas del confort.

Otras investigaciones, como la que ha estado llevando a cabo en Oporto [10] evalúan energéticamente estrategias de rehabilitación de edificios de viviendas para poder establecer criterios para la intervención en la rehabilitación de estas edificaciones estableciendo criterios como: zona climática de su ubicación, morfología de los edificios y sus características constructivas y patrimoniales. Este texto puede guiarnos hacia una buena intervención en la rehabilitación de la vivienda de nuestro caso de estudio para alcanzar los objetivos del H2020, aunque no se trate de una zona climática, ni unas características constructivas y patrimoniales iguales.

En el centro histórico de Oporto, una de las principales acciones para un mayor aprovechamiento energético consistiría en la reducción significativa de la demanda de calefacción en los edificios de viviendas, mediante la disminución de la tasa de infiltración de las ventanas, ya que es un dato a tener en cuenta, la proporción entre paredes exteriores y ventanas.

La demanda de refrigeración es generalmente 10% de la demanda de calefacción. La ventilación tiene un gran impacto en la demanda de calefacción y edificios que la renovación del aire interior puede ser responsable de 30% a 50% de las necesidades energéticas totales en la temporada de calefacción, lo que conduce a la necesidad de minimizar las tasas de flujo para reducir consumo de energía, y no existe una correlación entre las tasas de infiltración del aire y las dimensiones morfológicas y los huecos del edificio.

Una medida para mejorar el rendimiento y la reducción del aire que se filtra, es contar con sistemas de ventilación de aire ajustable, además de evitar cualquier grieta en los huecos y cambiando el maco de las ventanas y la solución de cristal simple a doble acristalamiento. Conclusiones que asumimos para nuestro caso de estudio.

Estos artículos hasta ahora citados, están relacionados con la temática del trabajo. Sin embargo, los tres trabajos siguientes, son las que presentan más similitudes con este Trabajo Fin de Grado y los de mayor relevancia para él:

-“Rehabilitación energética de una vivienda de los años 60” Universitat Jaume I, 2001.

En este trabajo se realizan simulaciones a través de diferentes programas informáticos con el fin de mejorar la eficiencia energética de edificios como es nuestro caso de estudio, ya no solo para

reducir las emisiones de gases de efecto contaminante al planeta, sino para combatir la pobreza energética, reduciendo los costes de uso cotidiano y mejorando el confort térmico de los edificios. Nos muestran además como nuestro parque edificatorio nacional poco a poco va aumentando las exigencias mínimas (acercándose a otras exigencias mínimas de los países europeos más nórdicos), que es a la que deberíamos asemejarnos para mejorar energéticamente. Diferencias significativas entre este trabajo y el nuestro, son que este, se centra principalmente en los bloques de viviendas, mientras que el nuestro en la vivienda tradicional mediterránea.

-Doménech Zea, Vanesa. 2011. “Rehabilitación Energética de edificios. Estudio de Soluciones Constructivas Y Su Viabilidad Económica En La Rehabilitación Energética de La Cubierta de Edificios Existentes En Madrid (TFM).”

De este trabajo cabe destacar que pone de manifiesto la importancia de realizar estrategias de rehabilitación energética para conseguir una arquitectura en la que la demanda de energía sea menor. Y, además, es interesante la recopilación de soluciones constructivas, aunque se centra principalmente en la cubierta y calcula su amortización a lo largo del tiempo (que dependen en gran medida de los sistemas de climatización de la edificación).

-“Mejora Energética de Vivienda Unifamiliar de Principio de S XX en La Poble del Duc. 2013.”

Este trabajo presenta gran similitud con el nuestro ya que se centra en la rehabilitación energética de una vivienda unifamiliar. Sin embargo la diferencia principal entre ambos, es que en este trabajo se utilizan medidas de rehabilitación activas, mientras que en el nuestro solo pasivas. Punto en común que tienen ambos es la relevancia que presenta el aislamiento para este tipo de edificaciones.

## **2. CASO DE ESTUDIO**

### **2.0. Introducción**

Para llevar a cabo el análisis de la vivienda tradicional mediterránea y cómo acercarla a los objetivos establecidos en el H2020, se estudia una manzana tradicional mediterránea, con viviendas entre medianeras de unos tres pisos de altura. Esta manzana del caso de estudio se localiza en un pequeño pueblo de la campiña cordobesa, Espejo. Se decide estudiar este lugar, para no realizar el estudio en una ciudad de mayor relevancia que ya haya sido estudiada y para poder acercar estos objetivos a un suelo rural en el que la normativa que hemos comentado anteriormente no se ha tenido en cuenta a la hora de realizar las construcciones. Además, se realiza un estudio para conseguir la mejor rehabilitación energética de una vivienda, ya que, en la actualidad, es un municipio cuya tendencia es la pérdida de población, por lo que es evidente que no se necesita la creación de nuevas viviendas, sino la rehabilitación de las ya existentes [11].

Espejo cuenta con un importante patrimonio cultural y arquitectónico, entre otros podemos señalar:

- Ermita de Santo Domingo (siglo XVI)
- Ermita de Santa Rita (siglo XVI)
- Ermita de la Virgen de la Cabeza (siglo XVII)
- Iglesia de San Miguel (siglo XVIII)
- Iglesia del exconvento carmelita de Santa Teresa (Hogar Parroquial)
- El Aljibe: construcción romana del siglo I
- Yacimientos arqueológicos de la Albuhera y la Pontanilla
- Plaza de la Constitución, con el emblemático edificio del Mercado de Abastos, la Casa de la Cadena y el Ayuntamiento.
- Paseo de Andalucía, más conocido como "Las Calleras" (Calle Eras) con sus casas nobiliarias
- Museo de Orfebrería. Situado en el interior de la Iglesia de san Bartolomé cuenta entre sus joyas con la Custodia Procesional.
- Museo etnológico (en proyecto desde hace décadas pero ya con importante material en depósito cedido por los vecinos)
- El Parque Periurbano del Borbollón, paraje utilizado por los habitantes de la localidad, como lugar de esparcimiento y ocio en la naturaleza.
- Miradores junto al Castillo.

En este paseo de Andalucía, más conocido por las Calleras se localiza la fachada principal de las viviendas que forman la manzana de estudio. Su fachada trasera, en la mayoría de los casos garajes y cocheras, se localizan en la Calle Barriada del Salado.

## 2.1. Definición manzana y caracterización

La manzana analizada está formada por 16 edificaciones diferentes en las que se mezclan sus condiciones de uso tanto global, como pormenorizado. Lo forman nueve viviendas unifamiliares, dos viviendas bifamiliares, una vivienda abandonada unifamiliar, dos edificaciones plurifamiliares y dos edificaciones dotacionales. Se muestra en la Figura 2.1



Datos de partida:

-Localización: Espejo (Córdoba)      Figura 2.1 Imagen aérea de la manzana. (Fuente: Google Earth)

-Zona climática: C4, al localizarse a una altitud de 423m respecto al nivel del mar.

-Clima: mediterráneo, con algunas características continentales, con veranos calurosos e inviernos suaves y poco lluviosos. El mes más caluroso es Agosto y el más frío es Enero. Las precipitaciones a menudo se producen entre octubre y mayo, siendo los meses más lluviosos los de noviembre y diciembre. A continuación en la Figura 2.1.2 se muestra una tabla con los datos recogidos en el año 2014.

Mes	Media	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura máxima media (°C)	24,6	14,8	16,9	20,5	22,2	26,3	31,5	36,3	35,8	31,6	25,2	18,8	15,4
Temperatura mínima media (°C)	10,7	3,7	4,8	6,5	8,6	11,8	15,4	18,2	18,5	16,2	12,2	7,6	5,3
Temperatura media (°C)	17,7	9,3	11	13,6	15,5	19,2	23,4	27,3	27,2	24,1	18,6	13,3	10,2
Lluvias (mm)	5,2	7	6	5	8	5	3	1	2	2	7	8	8

Fuente: [eltiempo7.com](http://eltiempo7.com)

Figura 2.2 Temperaturas y lluvias recogidas en el año 2014 (Fuente: eltiempo.com)

### Caracterización vivienda unifamiliar.

Dentro de esta manzana, más concretamente se va a analizar la vivienda de la C/ Paseo de Andalucía nº 27, que ha ido sufriendo numerosas transformaciones a lo largo de la historia, hace más de un siglo, esta vivienda y su contigua, la nº 29, eran una sola vivienda, la típica casa patio tradicional mediterránea, pero en el año 1919 se partió y desde entonces son dos viviendas totalmente independientes. Más tarde, tras la partición de estas viviendas, se han ido produciendo en ellas numerosas rehabilitaciones o cambios, pero ninguno de ellos, debido al tema energético que nos acontece hoy en día, sino por mantenimiento o por ampliación de la vivienda. En la figura 2.3 se puede observar la fachada principal de la vivienda y en figura 2.4 se observa la fachada trasera de esta, tratándose la fachada trasera de una cochera de almacenaje de maquinaria y vehículos y por lo tanto una parte no habitable de la vivienda.



Figura 2.3 Imagen fachada principal

(Fuente: Elaboración propia.)

Se trata de una viviendas de tres plantas (PB +II) con dos patios interiores, uno de ellos ha sido cubierto y el segundo de ellos no. Este segundo te separa de la pieza de la cochera, que como se comenta anteriormente es un espacio no habitable. El cuerpo principal de la vivienda consta de tres crujías + un patio + dos crujías y otra pieza que se añade hace unos dieciocho años, que es la cocina. Las crujías tienen unas luces en torno a los tres metros. La estructura principal de la vivienda está realizada mediante muros de carga de mampostería de piedra caliza, aunque existen otras actuaciones posteriores realizadas en hormigón armado (como en la crujía que está en el patio) o la cocina, mediante bloque de hormigón aligerado. Los forjados de la vivienda en su origen eran de rollizos de madera, ya solo los techos de la primera y segunda planta son de madera, el techo de la planta baja tuvo que ser sustituido por forjados unidireccionales de viguetas y bovedillas.



Figura 2.4|Imagen fachada cochera

(Fuente: Elaboración propia.)

El cuerpo principal de la vivienda sin contar el patio abierto tiene 199.65 m<sup>2</sup> construidos, el suelo ocupa el 100% de estos metros al igual que las diferentes cubiertas. El perímetro de la envolvente térmica es de 72.7 m. De esta longitud 7.6 m ocupa la fachada principal y 11.56 m fachada del patio abierto. Por lo que el porcentaje de fachada es un 26.36 % frente a un 73.64 % de medianera.

A continuación se muestra la planimetría que se ha realizado de la vivienda. Figura 2.5 y Figura 2.6



Figura 2.5 Plantas de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

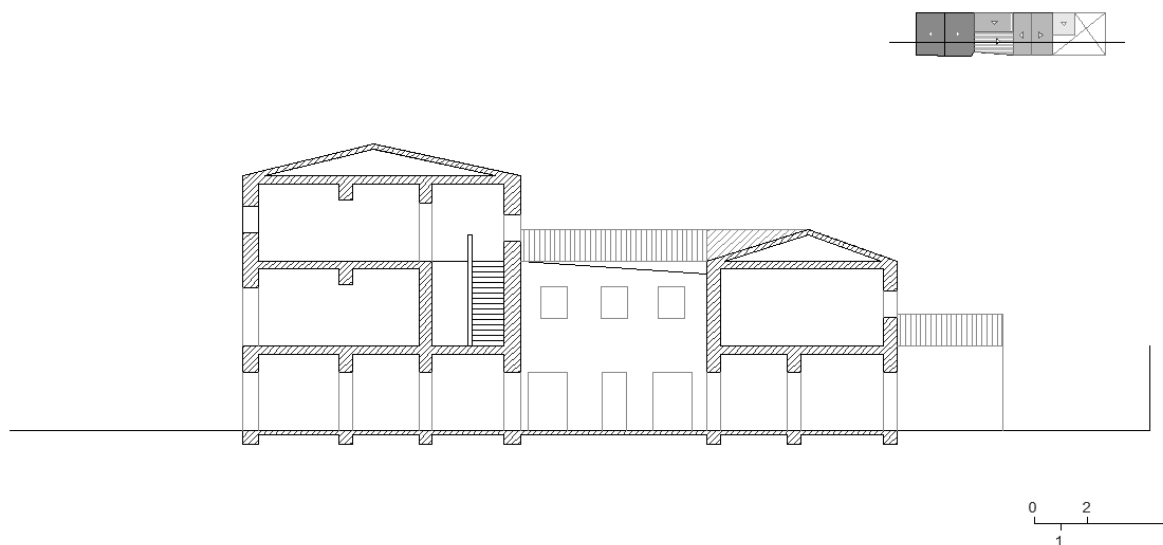


Figura 2.6 Sección longitudinal vivienda (Fuente: Elaboración propia)

## **2.2. Metodología usada para el trabajo.**

Principalmente, la metodología empleada en el trabajo consiste en la caracterización de la vivienda en un programa informático y más tarde la creación de una serie de hipótesis simples y combinadas entre sí, para estudiar las soluciones constructivas de rehabilitaciones energéticas, más eficaces e indicadas en este caso de estudio, ya que no todas las soluciones constructivas existentes en el mercado para rehabilitaciones energéticas se puede utilizar, por temas patrimoniales o simplemente por sensibilidad arquitectónica.

Estas hipótesis se desarrollaran en un software informático llamado HERRAMIENTA UNIFICADA LIDER-CALENER, que es una herramienta informática que se utiliza para la evaluación de la demanda energética y el consumo energético de edificios, así como la adaptación de aplicaciones a los cambios introducidos por el Código Técnico de la Edificación, más concretamente en el Documento Básico de Ahorro Energético.

Primero se introduce el modelo de la vivienda tal y como se encuentra en la actualidad, definiendo constructivamente cada una de las partes que la forman (muros, huecos, forjados, patios etc.) y así se obtiene una demanda y un consumo energético determinado, además de la letra que según el Código Técnico obtendría esta vivienda según su calificación energética.

Una vez, tengamos estos datos de referencia, se compararán con las diferentes hipótesis que se crean con las determinadas soluciones constructivas adoptadas y se estudiará cual es la más adecuada, y cómo se encuentra esta edificación dentro del marco de los objetivos de H2020 y de la normativa española actual.

### **2.3. Sistemas constructivos**

A continuación se muestran una clasificación que se ha realizado de las diferentes soluciones constructivas que se encuentra en el mercado para la rehabilitación de viviendas. Solamente se clasifican las técnicas que rehabilitan de forma pasiva, es decir, aquellos sistemas que una vez llevados a cabo, no necesitan energía no renovable para poder realizar su función. Por tanto, no se hace una clasificación de las técnicas de rehabilitación activas, ya que el compromiso con la calidad del medioambiente es una exigencia de la sociedad vinculada al progreso de manera sostenible, y aunque existan numerosos sistemas de rehabilitación de forma activa mediante energía renovables (como la biomasa, la energía fotovoltaica etc.) al tratarse de una vivienda que carece de instalaciones de climatización, ventilación etc. el tema de este trabajo no se centra en introducirlas, si no en maneras de mejorar la vivienda energéticamente de forma pasiva.

#### **-PROPUESTAS DE MEJORAS DE FORMA PASIVA**

Podemos clasificar diferentes propuestas de mejora de forma pasiva:

- Cubiertas
- Fachadas
- Suelos
- Huecos

Dentro de cada una de estas propuestas también encontramos diferentes opciones para mejorar la eficiencia energética total de la vivienda.

##### **Cubiertas:**

- **Aislamiento térmico por el exterior**
- **Aislamiento térmico por el interior**

##### **Fachadas:**

- **Aislamiento térmico por el exterior**
- **Aislamiento térmico por el interior**

##### **Suelos:**

- **Inclusión aislamiento térmico**
- **Inclusión cámara de aire**
  - Creación forjado sanitario tradicional
  - Sistema Cáviti

##### **Huecos**

- **Sustitución de huecos**
- **Rehabilitación huecos**
- **Duplicación huecos**



## **CUBIERTAS:**

La cubierta del edificio es el elemento más sensible y expuesto a los agentes externos, tanto climatológicos como del propio uso, por lo que la reparación de goteras, humedades y desperfectos suele ser una práctica habitual. Sin embargo, en estas intervenciones no es habitual aplicar criterios térmicos o de ahorro de energía, cuyos beneficios son notorios.

A continuación se muestran las soluciones técnicas más comunes para rehabilitación de cubiertas. Ya que debe actuarse en la cubierta, se puede aprovechar la reforma para realizar también su rehabilitación térmica y del aislamiento a coste muy reducido. Por ello, se han definido dos grandes apartados según la disposición del aislamiento térmico en el momento de acometer la reforma.

**-Rehabilitación de cubiertas con el aislamiento térmico por el exterior.**

**-Rehabilitación de cubiertas con el aislamiento térmico por el interior.**

### **- Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el exterior**

Las actuaciones de rehabilitación deben ser consecuencia de un estudio previo detallado del estado de la cubierta en cuestión. La rehabilitación de las cubiertas inclinadas se suelen producir por filtraciones o entradas de agua en el espacio subyacente. Por otra parte, en las cubiertas planas, mayoritariamente azoteas, las rehabilitaciones se suelen producir por infiltraciones por falta de lámina impermeabilizante o grietas por falta de juntas o puentes térmicos mal resueltos, cuando se produzca esta situación tanto en las cubiertas planas como inclinadas, será el momento perfecto para rehabilitarla energéticamente también.

En todos los casos, la obra de rehabilitación se debe de ejecutar con la mínima interferencia para los usuarios del edificio y tratando de no reducir la altura libre de las estancias del último piso. Destacar que, al aislar por el exterior, el soporte estructural (forjado) que forma la azotea se encuentra relativamente caliente, pues está protegido por el aislamiento y, por tanto, cualquier área donde, por el motivo que fuera, se interrumpa el aislamiento térmico, no cambia la circunstancia de que el soporte seguirá básicamente caliente, sobre todo su superficie interior que, por consiguiente, mostrará una temperatura superficial superior al punto de rocío del ambiente interior, en definitiva, suficiente para evitar fenómenos de condensación y no existirán puentes térmicos.

Es especialmente conveniente aislar por el exterior cuando la vivienda o edificio son de ocupación permanente. De este modo, se cuenta con la inercia térmica para estabilizar del modo más efectivo las temperaturas y conseguir una reducción adicional en el consumo de combustible para la climatización (calefacción + refrigeración) del edificio o vivienda.

### **- Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el interior**

Al aplicarse por el interior, se evita el levantamiento de la cubrición exterior (tejas o pavimento), impermeabilización, etc., posibilita la rehabilitación del interior del edificio desde el punto de vista estético, conformando una superficie plana y lisa que permite un acabado de pintura (eliminando el riesgo de fisuras) y la instalación de nuevos sistemas de iluminación y o climatización (en función de las disponibilidades de altura); En el caso de utilizar placas de yeso

laminado, el montaje es rápido y por vía seca, permitiendo la habitabilidad durante la ejecución de los trabajos. Es especialmente adecuado cuando no es necesario efectuar trabajos de impermeabilización o modificación de la cubierta externa del edificio. Es especialmente conveniente aislar por el interior cuando la vivienda o edificio no es de ocupación permanente. Al ejecutarse la intervención por el interior, puede limitarse a una parte del inmueble. En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción para ejecutar la obra de rehabilitación, ya que no se podrá hacer por el exterior, dada la alteración de las fachadas que supondría.

### **FACHADAS:**

La rehabilitación de la fachada de un edificio suele asociarse a la necesidad de un “lavado de cara” de la misma por motivos estéticos. Sin embargo, a continuación se describen intervenciones con criterios de eficiencia energética por medio de aislamientos, que pueden abordarse una vez decidida esta acción y que conllevarán beneficios de confort importantes para los usuarios a un coste reducido.

Se pueden distinguir dos técnicas principales de actuación:

#### **-Aislamiento térmico por el exterior**

#### **-Aislamiento térmico por el interior**

Dentro del aislamiento térmico por el exterior podemos diferenciar dos formas de actuar principalmente, mediante un sistema denominado SATE y mediante la creación de una fachada ventilada.

Por otra parte, dentro del aislamiento por el interior se diferencian dos maneras de actuar principalmente también, mediante la inyección de aislamiento térmico en cámaras de aire y el trasdosado interior de aislamiento térmico.

A continuación, en la Figura 2.7 se muestra una tabla comparativa de los cuatro sistemas, en las que se observan las ventajas e inconvenientes que muestran cada uno de ellos: el sistema SATE, la fachada ventilada, la implementación de aislamiento en cámara y el trasdosado interior:

	CONCEPTO	SATE/ETICS	FACHADA VENTILADA	INYECCIÓN EN CÁMARA	TRASDOSADO
ENERGÍA	Disminución ganancias por radiación solar	SI	SI	NO	NO
	Eliminación de puentes térmicos	SI	SI	NO	NO
	Conservación inercia térmica	SI	SI	SI	NO
DURABILIDAD	Protección contra agresiones externas	SI	SI	NO	NO
	Mantenimiento	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
	Protección contra condensaciones interst.	SI(*)	SI(*)	NO	NO
COMODIDAD	Mejora estética exterior	SI	SI	NO	NO
	Molestias para usuarios en la ejecución	NO	NO	NO	SI
	Coste	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO
(*) La protección de condensaciones intersticiales se entiende sólo con aislamientos térmicos transpirables					

Figura2.7 Comparación características sistema SATE, fachada ventilado, inyección en cámara y trasdosado (Fuente:<http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/las-cinco-soluciones-rehabilitacion-termica-fachadas-edificios/>)

## **- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el exterior**

### **SATE**

Se trata de un sistema multicapa que se coloca en el exterior de los edificios para la implementación o la adición de aislamiento térmico por el exterior. Es aplicable sobre cualquier soporte que se utilizan actualmente, fábricas, hormigón, metálico etc.

Intervenir por el exterior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

En todos los casos, la obra de rehabilitación se ejecuta con la mínima interferencia para los usuarios del edificio. Instalado el aislamiento sobre las fachadas:

- No se reduce la superficie útil del edificio o vivienda.
- Se corrigen con toda facilidad todos los puentes térmicos, y los fenómenos de condensación.
- Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción).
- Es especialmente conveniente aislar por el exterior cuando la vivienda o edificio son de ocupación permanente. De este modo, se cuenta con la inercia térmica para estabilizar del modo más efectivo las temperaturas y conseguir una reducción de la demanda de climatización.
- En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, será muy difícil, o incluso imposible, practicar la intervención por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

### **FACHADA VENTILADA**

Este sistema consiste en la aplicación de aislamiento por la parte externa del muro, y de una protección formada, normalmente, por una lámina ligera externa, separando ambos materiales por una cámara de aire ventilada. Está formado por un aislamiento generalmente rígido o semirrígido de lana mineral (lana de roca o lana de vidrio) fijado al muro soporte (fachada existente) o poliuretano proyectado, y una hoja de protección (formada por planchas, bandejas, "cassettes", etc.) separada del aislamiento, formando una cámara donde circula el aire por simple convección. La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto.

La fachada ventilada mejora de la eficiencia energética del edificio, elimina condensaciones de humedad, presenta gran durabilidad, nulo mantenimiento y flexibilidad de diseño, permite el aislamiento térmico continuo de la envolvente del edificio, lo que unido a la cámara abierta entre esta capa aislante y el revestimiento cerámico, mejoran la eficiencia energética del edificio rehabilitado: en verano, reduce la absorción de calor y mejora su disipación mediante movimientos convectivos del aire en el interior de la cámara, mientras que en invierno, reduce las pérdidas de calor, así como la eliminación de puentes térmicos y condensaciones.

## - **Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior**

### INYECCIÓN DE AISLANTE EN CÁMARA DE AIRE.

A menudo en rehabilitación nos encontramos con edificios cuyas fachadas están catalogadas, protegidas o simplemente no se desea intervenir por el exterior, ni perder espacio interior. El sistema de inyección de aislamiento térmico en cámara de aire es una la mejor opción cuando existe imposibilidad de actuar desde el exterior.

Es un sistema sencillo, de rápida ejecución, que no presenta un coste muy elevado para los usuarios que lo solicitan, ni molestias para ellos durante su ejecución.

### TRASDOSADO INTERIOR

La rehabilitación térmica de la fachada por el interior se recomienda, especialmente, en los siguientes casos: Durante la realización de otros trabajos en el interior del edificio (suelos, particiones, ventanas, etc.). Cuando no se considere modificar el aspecto exterior del edificio, con lo que no se realizará ningún gasto en elementos auxiliares, como andamios. Siempre que compense la pérdida de espacio útil con los ahorros energéticos y beneficios medioambientales que supone la intervención. Se debe prestar especial atención a los encuentros con cerramientos (ventanas y puertas), así como a la resolución de los puentes térmicos.

Intervenir por el interior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

- Se incrementa el aislamiento térmico del muro soporte.
- Pueden efectuarse intervenciones “parciales” a nivel de una vivienda o sólo algunos locales. No se precisan sistemas de andamiaje que invadan la vía pública. En el caso de viviendas, puede ser factible en soluciones más sencillas y de poca cuantía, que el propio usuario de la vivienda acometa como bricolaje la ejecución de la reforma.
- Dificultad de corrección de los puentes térmicos, debido al elevado riesgo de formación de condensaciones superficiales.
- Es especialmente conveniente aislar por el interior cuando la vivienda o edificio no son de ocupación permanente.
- Es aplicable a cualquier tipo de fachada. En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción para ejecutar la obra de rehabilitación, ya que no se podrá hacer por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

### **SUELOS**

La actuación de rehabilitación de los suelos de los edificios no se suelen producir con tanta frecuencia como las de las fachadas, cubiertas o carpinterías, sin embargo, para casos de viviendas unifamiliares en las que no presentan una separación importante entre el terreno y el espacio

habitable (como es el caso de la mayoría de las viviendas tradicionales mediterráneas, que la separación entre terreno y espacio habitables es insuficiente debido a la carencia de aislamiento térmico, bandas impermeabilizantes y cámaras de aire) puede producir una gran mejora en las pérdidas energéticas del edificio.

#### - **Inclusión aislamiento térmico**

Cuando por problemas de altura libre y no sea posible la creación de una cámara de aire que separe el espacio a acondicionar en contacto con el terreno de este, existe la posibilidad de usar este sistema, de incluir el aislamiento térmico en el suelo. Podemos encontrarnos varias opciones:

Suelos sobre el terreno o sobre cámaras sanitarias.- se coloca el material aislante térmico sobre el suelo. Tenga en cuenta que ello puede reducir la altura libre interior.

Suelos sobre espacios no habitables como trasterios o aparcamientos.- se coloca el material aislante térmico sobre el suelo (tenga en cuenta que ello puede reducir la altura libre interior) o por la cara inferior del suelo (techo del espacio no habitable).

Suelos sobre el exterior.- se coloca el material aislante térmico sobre el suelo (tenga en cuenta que ello puede reducir la altura libre interior) o por la cara inferior del suelo, es decir, por el exterior.

#### - **Inclusión cámara de aire**

La creación de una cámara de aire ventilada bajo el forjado sanitario, es una opción para mejorar la eficiencia energética del edificio y prevenir y solucionar además numerosas patologías que aparecen por este contacto entre terreno y edificio como las humedades. Cuando se tenga la altura libre suficiente para la creación de esta cámara de aire, se pueden elegir dos formas de ejecutarlo:

##### - Creación forjado sanitario tradicional

Cuando exista una altura libre suficiente, la estructura se encuentre en buen estado de conservación y sea capaz de soportar las cargas adicionales que esto supone, se puede crear un nuevo forjado (sanitario), añadiendo todos los sistemas de aislamiento e impermeabilización necesarios, separado unos 50 centímetros del terreno, para poder crear una cámara de aire ventilada debajo de este forjado y así aumentar la eficiencia energética del edificio.

##### - Sistema Cáviti para cámara de aire

Este sistema constructivo se compone a partir de la unión de piezas de encofrado perdido de alturas variables en función de las características de obra y de proyecto. Consiste en la creación de un forjado sanitario mediante el cual se separa la zona habitable del terreno con su propia estructura y las cámaras de aire que estas piezas de encofrado perdido producen.

## HUECOS

Hasta la entrada del Código Técnico de la Edificación el 17 de marzo de 2006, la rehabilitaciones que se producían en las edificaciones existentes, tenían como objetivo principal subsanar problemas y defectos de las partes ciegas de las fachadas dejando una parte de ellas como son las ventanas en las que prácticamente no se realizaba ninguna intervención.

### - **Sustitución de huecos**

En la rehabilitación de los huecos de la fachada, y para conseguir que las ventanas cumplan su función, existen varios factores que son determinantes para ello, principalmente: el tipo de marco y de vidrio que las forman, para poder conseguir un nivel de aislamiento térmico y acústico adecuado. Por lo que si queremos conseguir un aumento sustancial de la eficiencia energética, una forma muy sencilla de conseguirlo sería la sustitución de los huecos existentes, que presenten malas condiciones de aislamiento tanto térmico como acústico y en la que existan puentes térmicos, por otra tipología de ventana que tenga la misma materialidad o no, pero que presenta mejoras desde el punto de la eficiencia energética, como vidrios dobles o marcos con rotura de puente térmico.

### - **Rehabilitación huecos**

Cuando se trate de edificios de un cierto interés patrimonial en la que la sustitución de huecos no sea la opción más adecuada y exista una cierta sensibilidad por el tratamiento de esos huecos, una opción podría ser la rehabilitación de esos huecos. Primero se extraerían las ventanas a rehabilitar se mandarían a empresas o carpinteros especializados y se rehabilitarían introduciendo un doble acristalamiento, también llamado unidad de vidrio aislante (UVA). Este proceso consiste en sustituir los cristales sencillos por vidrios dobles constituidos por vidrios simples separados por una cámara de aire. En el caso de los sobreacristalamientos (técnica no muy utilizada aun en España) se ha de sobreponer al cristal ya existente y mediante diversos sistemas de fijación, un nuevo cristal o plástico transparente. Mediante una junta periférica se consigue dar estanqueidad a la ventana y se garantiza así el aislamiento térmico gracias a la cámara de aire que queda entre el cristal existente y el sobreacristalamiento.

### - **Duplicación huecos**

Esta solución, junto con la anterior en la rehabilitación térmica de huecos y ventanas, quizás sea la más costosas, consisten en disponer una nueva ventana por el interior o por el exterior de la ventana compatible en movimiento y situación con la ya existente (dobles ventanas) previamente, restaurando la ventana existente. Esta solución también se utiliza cuando la sustitución de la ventana por valor patrimonial o legal no sea la solución más adecuada y se tenga cierta sensibilidad a mantener estos huecos tal como fueron diseñados en el momento de su fabricación.

Por último, comentar, que el empleo de vidrio de baja emisividad y vidrios de control solar en la rehabilitación de huecos y ventanas mejoran las prestaciones de aislamiento térmico y control solar de las ventanas.

## 2.4. Hipótesis.

Primeramente se crea un modelo, que ejemplifique la realidad de la vivienda y a partir de este, se van creándose las hipótesis. Por ello, se define las características constructivas de la vivienda una vez ya se han definido los datos generales, locales, climáticos y tipológicos, que se expresaron en el apartado 2.1. Definición manzana y caracterización.

### MODELO REAL

#### - Cerramientos y particiones

En primer lugar definimos los diferentes cerramientos y particiones que forman la vivienda, se diferencian 5 tipos diferentes de cerramientos: muro interior, muro exterior, medianera, muro cocina y tabiquería.

#### Muro interior

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,005	0,400	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
3	Caliza dureza media [1800 < d < 1990]	0,460	1,400	1895	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0,005	0,400	900	1000	
6						



U	1,60	W/(m²K)
---	------	---------

Figura 2.8 Descripción muro interior (Fuente: Elaboración propia)

#### Muro exterior

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,005	0,400	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
3	Caliza dureza media [1800 < d < 1990]	0,560	1,400	1895	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0,005	0,400	900	1000	
6						



U	1,44	W/(m²K)
---	------	---------

Figura 2.9 Descripción muro exterior (Fuente: Elaboración propia)

#### Medianera

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,050	0,400	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
3	Caliza dureza media [1800 < d < 1990]	0,560	1,400	1895	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0,050	0,400	900	1000	
6						



U	1,09	W/(m²K)
---	------	---------

Figura 2.10 Descripción muro medianero (Fuente: Elaboración propia)

#### Muro cocina

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,800	2100	1000	
2	BC con mortero convencional espesor 190	0,190	0,433	1080	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,300	625	1000	
4	Azulejo cerámico	0,015	1,300	2300	840	
5						



U	1,47	W/(m²K)
---	------	---------

Figura 2.11 Descripción muro cocina (Fuente: Elaboración propia)

#### Tabiquería

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,010	0,400	900	1000	
2	Tabicón de LH doble Gran Formato 60 mm <	0,080	0,212	630	1000	
3	Enlucido de yeso d < 1000	0,010	0,400	900	1000	
4						



U	1,67	W/(m²K)
---	------	---------

Figura 2.12 Descripción tabiquería (Fuente: Elaboración propia)

- Particiones horizontales e inclinadas

En segundo lugar definimos los diferentes cerramientos horizontales o inclinados y los forjados que existen, en este caso diferenciamos 5 tipos: Forjado en contacto con el suelo, el forjado primero, el forjado segundo, la cubierta y el techo del patio.

**Forjado suelo**

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mármol [2600 < d < 2800]	0,030	3,500	2700	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,030	0,300	625	1000	
3	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,010	2,000	1450	1050	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,050	0,300	625	1000	
5						



U	2,22	W/(mK)
---	------	--------

Figura 2.13 Descripción forjado suelo (Fuente: Elaboración propia)

**Forjado primero**

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mármol [2600 < d < 2800]	0,030	3,500	2700	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,030	0,300	625	1000	
3	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,010	2,000	1450	1050	
4	Mortero en masa 2000 < d < 2300	0,200	1,650	2150	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0,050	0,400	900	1000	
6						



U	1,89	W/(mK)
---	------	--------

Figura 2.14 Descripción forjado primero (Fuente: Elaboración propia)

**Forjado segundo**

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Placa o baldosa cerámica	0,020	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,030	0,300	625	1000	
3	Arcilla o lino [1200 < d < 1800]	0,010	1,500	1500	2100	
4	Conifera de peso medio 435 < d < 520	0,015	0,150	480	1600	
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm					0,190
6	Conifera de peso medio 435 < d < 520	0,015	0,150	480	1600	
7	Enlucido de yeso d < 1000	0,050	0,400	900	1000	
8						

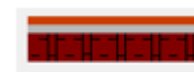


U	1,23	W/(mK)
---	------	--------

Figura 2.15 Descripción forjado segundo (Fuente: Elaboración propia)

**Cubierta empalorado**

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Testa de arcilla cocida	0,020	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	0,300	625	1000	
3	Tabique de LH sencillo Gran Formato 140 mm	0,060	0,228	670	1000	
4						



U	1,92	W/(mK)
---	------	--------

Figura 2.16 Descripción cubierta empalorado (Fuente: Elaboración propia)

**Techo patio**

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Polcarbonatos [PC]	0,010	0,200	1200	1200	
2						



U	4,95	W/(mK)
---	------	--------

Figura 2.17 Descripción techo del patio (Fuente: Elaboración propia)

- Huecos

En tercer lugar se definen las diferentes puertas y ventanas que existen en la vivienda, homogeneizando diferenciamos 4 tipos: puertas de madera, ventanas de madera, puertas metálicas y ventanas metálicas.



### Puerta madera

Grupo PUERTAS

Nombre PUERTA\_MADERA

Propiedades

Grupo Vidrio Monolíticos en posición vertical

Vidrio VER\_M\_4

Grupo Marco De Madera en posición vertical

Marco VER\_Madera de densidad media alta

% hueco cubierto por el marco 99,00 ☒ ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire 60,00 m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa

Figura 2.18 Descripción puerta madera (Fuente: Elaboración propia)

### Puerta metálica

Grupo PUERTAS

Nombre PUERTA\_METALICA

Propiedades

Grupo Vidrio Monolíticos en posición vertical

Vidrio VER\_M\_4

Grupo Marco Metálicos en posición vertical

Marco VER\_Normal sin rotura de puente térmico

% hueco cubierto por el marco 30,00 ☒ ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire 60,00 m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa

Figura 2.19 Descripción puerta metálica (Fuente: Elaboración propia)

### Ventana madera

Grupo VENTANAS

Nombre

Propiedades

Grupo Vidrio

Vidrio

Grupo Marco

Marco

% hueco cubierto por el marco  ☐ ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire  m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa

Figura 2.20 Descripción ventana madera (Fuente: Elaboración propia)

### Ventana metálica

Grupo VENTANAS

Nombre

Propiedades

Grupo Vidrio

Vidrio

Grupo Marco

Marco

% hueco cubierto por el marco  ☐ ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire  m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa

Figura 2.21 Descripción ventana metálica (Fuente: Elaboración propia)

### - Puentes térmicos

En cuarto lugar definimos los diferentes puentes térmicos existentes en la vivienda del caso de estudio.

#### Frente forjado

Detalle	Longitud(%)	L. rest(%)	U muro	Esp. forjado
Frentes de forjados - Forjado interrumpe el	100	0	1,44	0,30



Figura 2.22 Descripción puente térmico: frente forjado (Fuente: Elaboración propia)

#### Esquinas salientes

Detalle	Longitud(%)	L. rest(%)	U muro
Esquinas salientes	100	0	1,44




Figura 2.23 Descripción puente térmico: esquinas salientes (Fuente: Elaboración propia)

#### Forjado en contacto con el aire

Detalle	Longitud(%)	L. rest(%)	U muro	U suelo
Aislamiento bajo el forjado sin continuidad con	100	0	1,44	2,22




Figura 2.24 Descripción puente térmico: forjado en contacto con el aire (Fuente: Elaboración propia)

#### Alféizar

Detalle	Longitud(%)	L. rest(%)	U muro	U marco
Alféizar - G1 - Discontinuidad entre aislamiento	100	0	1,44	2,20

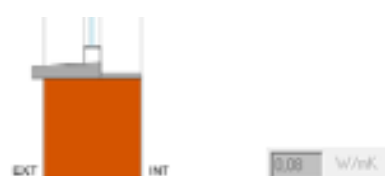


Figura 2.25 Descripción puente térmico: alféizar (Fuente: Elaboración propia)

## Dintel

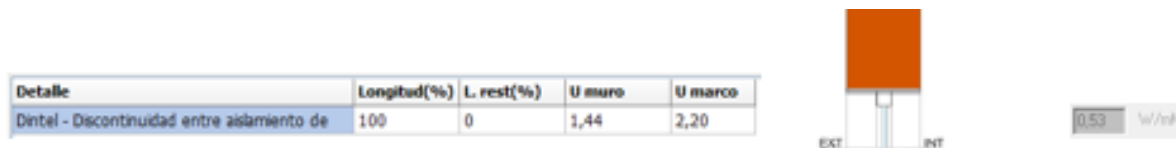


Figura 2.26 Descripción puente térmico: dintel (Fuente: Elaboración propia)

## Jamba

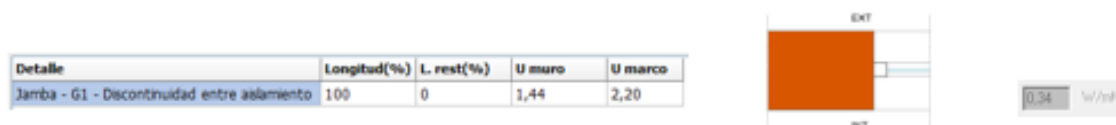


Figura 2.27 Descripción puente térmico: jamba (Fuente: Elaboración propia)

## Pilar

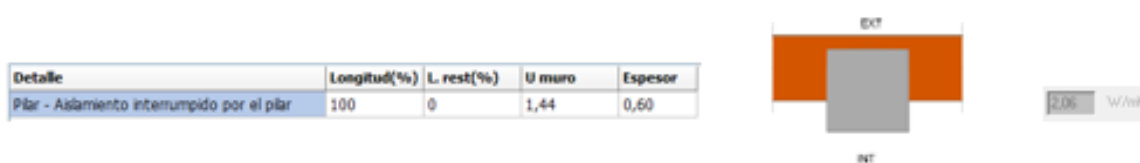


Figura 2.28 Descripción puente térmico: pilar (Fuente: Elaboración propia)

## Muro sin aislamiento

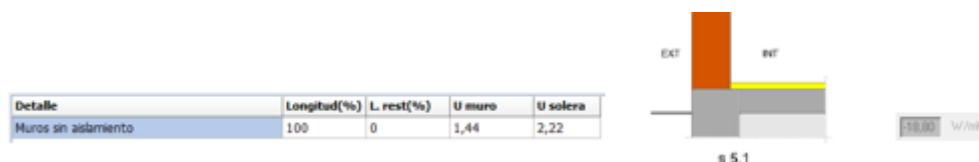


Figura 2.29 Descripción puente térmico: muro sin aislamiento (Fuente: Elaboración propia)

Una vez se han definido todos los datos constructivos de la vivienda, el programa que utilizamos te obliga a definir sistemas de ACS, como mínimo, para poder calcular la calificación energética de la vivienda, por lo que para la creación de todas las demás hipótesis y los nuevos modelos, se va a utilizar siempre el mismo sistema en cada caso, para así no influir en el cálculo de la eficiencia energética de forma activa, solo se cambiarán en los nuevos modelos las características constructivas que ayudan a aumentar la eficiencia energética de la vivienda de forma pasiva.

## -Sistemas.

### Sistema mixto de calefacción y ACS

**Mixto calefacción y ACS**

Nombre:

Propiedades básicas

Fracción cubierta por el sistema solar térmico	<input type="text" value="60,0"/>	%
Temperatura de impulsión sanitaria	<input type="text" value="50,0"/>	°C
Temperatura de impulsión calefacción	<input type="text" value="80,0"/>	°C
Multiplicador	<input type="text" value="1"/>	

Figura 2.30 Descripción sistema mixto de calefacción y ACS (Fuente: Elaboración propia)

### Demanda

**demanda de ACS**

Nombre:

Propiedades básicas

Consumo total diario	<input type="text" value="84,00"/>	l/día
Temperatura de utilización	<input type="text" value="60,0"/>	°C
Temperatura del agua de red	<input type="text" value="14,4"/>	°C

Figura 2.31 Descripción demanda (Fuente: Elaboración propia)

### Caldera

**Caldera**

Nombre:

Propiedades básicas

Capacidad Total	<input type="text" value="10,00"/>	kW
Rendimiento nominal	<input type="text" value="0,850"/>	
Tipo energía	<input type="text" value="Electricidad"/>	
Multiplicador	<input type="text" value="1"/>	

Figura 2.32 Descripción caldera (Fuente: Elaboración propia)

**Nota:** Para el cálculo de la demanda de ACS, se han obtenido los datos del CTE-DB-HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, en el que se establece a 28 l/día por persona, en esta vivienda únicamente viven dos personas, pero para encontrarnos del lado de la seguridad, en el caso de que haya visitas o situaciones de este tipo, suponemos que hay 3 personas, por tanto sería necesario 84 l/día.

Finalmente, una vez se han realizado todas estas descripciones en el programa, se calcula la demanda que necesita la vivienda y su grado de eficiencia energética. En el caso del modelo real (que sería la vivienda actual tal cual se encuentra en estos momentos) los resultados obtenidos se observan en las siguientes figuras: figura 2.33 y 2.33.1

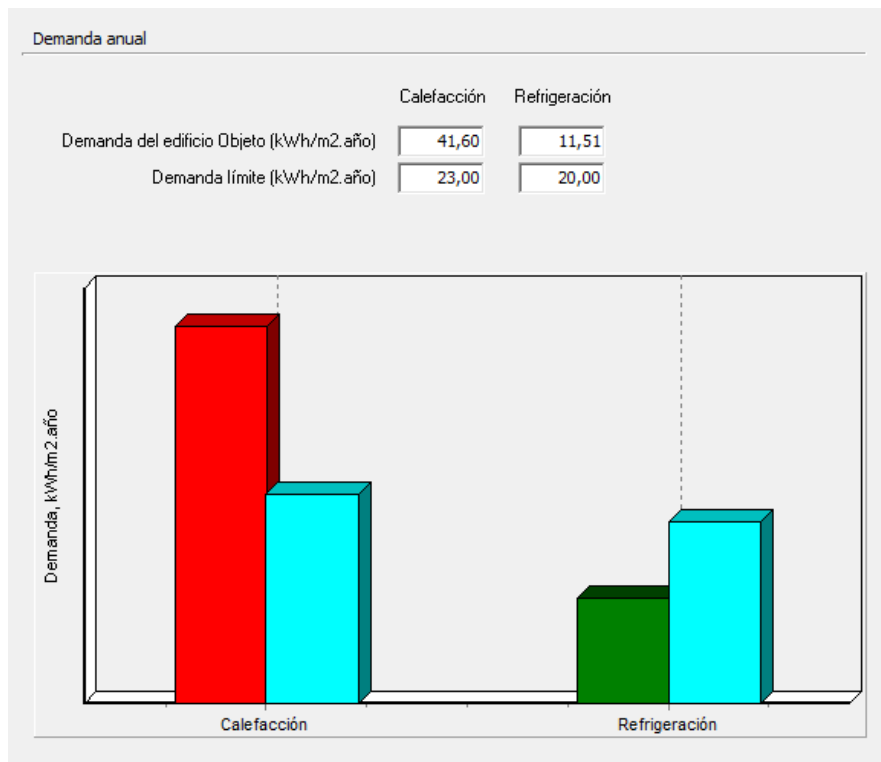


Figura 2.33 Demanda anual de calefacción y refrigeración (Fuente: Elaboración propia.)

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	Edificio Objeto		
<8,9 A	15,1 B		
8,9-15,3 B			
15,3-25,0 C			
25,0-39,3 D			
39,3-70,8 E			
70,8-87,1 F			
>87,1 G			
	Clase	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Demanda calefacción	C	41,6	13889,2
Demanda refrigeración	A	11,5	3844,1
	Clase	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	C	61,5	20537,5
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	11,3	3756,3
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primario renovable totales	C	77,2	25788,7
	Clase	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	kgCO <sub>2</sub> /año
Emisiones CO <sub>2</sub> calefacción	C	12,4	4139,0
Emisiones CO <sub>2</sub> refrigeración	A	1,9	636,3
Emisiones CO <sub>2</sub> ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO <sub>2</sub> totales	B	15,1	5028,5

Figura 2.33.1 Certificación energética del edificio (Fuente: Elaboración propia.)

En la Figura 2.33, se puede observar un diagrama de barras de diferentes colores. El color azul representa la demanda tanto de calefacción como de refrigeración que según el CTE un edificio situado en la misma localización con las mismas características constructivas etc. debería tener como máximo, es decir, un edificio objeto de referencia, que te establece los máximos de demanda que no se debe sobrepasar para la zona climática que nos encontramos.

Como se puede observar, en el modelo actual de la vivienda, la demanda de calefacción es muy superior a lo que debiera, mientras que la demanda de refrigeración es inferior a la máxima. En la figura 2.33.1 se muestra la calificación energética de la vivienda en nuestro caso es la letra B.

Con la creación de una serie de hipótesis que se expondrán a continuación, se irá probando cual es la solución más adecuada, para reducir la demanda de calefacción y conseguir una calificación energética mejor, y así, cumplir todas las exigencias del CTE-DB-HE-0 y CTE-DB-HE-1. Además, se pretende aumentar un 20% la eficiencia energética de la vivienda, para de esta manera acercarla a los objetivos del H2020.

### HIPÓTESIS SIMPLES

A partir de lo citado en el apartado 2.3 Sistemas constructivos, se crean hipótesis simples de un solo cambio en el sistema constructivo y se van analizando los resultados.

- **Modelo 0:** En este modelo se introduce el edificio con las mismas características constructivas que el modelo real excepto el patio. Se suprime la cubierta del patio central, por lo que ese espacio queda al exterior.

#### -Fachada

- **Modelo 1:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.
- **Modelo 2:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.
- **Modelo 3:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.
- **Modelo 4:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de lana mineral (0,04) W/m K de espesor 8 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona y observamos que con el mismo espesor el EPS (0,037) W/m K, disminuye un poco más la demanda, por lo que el aislante que utilizaremos será el EPS.

**Nota:** No se crea ninguna hipótesis de implementación del aislamiento mediante trasdosado interior, ya que es una hipótesis que en la realidad no se llevaría a cabo, por temas de sensibilidad arquitectónica, ya que la vivienda cuenta con numerosos zócalos antiguos en el interior y no se quieren perder.

#### -Cubierta

- **Modelo 5:** Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.
- **Modelo 6:** Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K= 5 cm.
- **Modelo 7:** Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8 cm.

Nota: No se introducen ninguna hipótesis de aislamiento térmico en el exterior de la cubierta, ya que esto supondría el desmantelamiento de ella, y se encuentra en buen estado, por lo que no sería necesario, vemos mejor la solución de aislamiento desde el interior.

#### -Suelo

No se crea ninguna hipótesis para cambiar el suelo existente, ya que la vivienda presenta una solería antigua que no se quiere perder, por lo que se opta por otras soluciones que se consideran más adecuadas.

#### -Huecos

- **Modelo 8:** Se sustituyen las actuales ventanas metálicas antiguas, de un vidrio monolítico, sin rotura de puente térmico. Por unas ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm)
- **Modelo 9:** Se sustituyen las actuales ventanas de metálicas por las del modelo 8 además de introducir una doble ventana en las ventanas de madera (que en el programa informático se consigue, aumentando el espesor de la cámara de aire del doble vidrio, ya que no deja introducir una doble ventana).

### HIPÓTESIS COMPUESTAS

Con ninguna de estas hipótesis simples se consigue disminuir la demanda de calefacción a la establecida por el CTE, por lo que a partir de estas hipótesis simples, se van a combinar entre ellas para obtener mejores resultados tanto de demanda como de calificación energética.

#### -SATE + Aislamiento cubierta

- **Modelo 10:** modelo 1 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.
- **Modelo 11:** modelo 2 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.



- **Modelo 12:** modelo 3 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3 cm.
- **Modelo 13:** modelo 1 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.
- **Modelo 14:** modelo 1 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.
- **Modelo 15:** modelo 2 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.
- **Modelo 16:** modelo 2 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.
- **Modelo 17:** modelo 3 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.
- **Modelo 18:** modelo 3 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.

-SATE + Ventanas metálicas.

- **Modelo 19:** modelo 1 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 20:** modelo 2 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 21:** modelo 3 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

-Aislamiento cubierta + Ventanas metálicas.

- **Modelo 22:** modelo 5+ modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

- **Modelo 23:** modelo 6 + modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 24:** modelo 7 + modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

-SATE + Aislamiento cubierta + Ventanas metálicas.

- **Modelo 25:** modelo 1 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 26:** modelo 2 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 27:** modelo 3 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 28:** modelo 1 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 29:** modelo 1 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 30:** modelo 2 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 31:** modelo 2 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble

vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

- **Modelo 32:** modelo 3 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).
- **Modelo 33:** modelo 3 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

-SATE + Aislamiento cubierta + Ventanas metálicas + Cámaras estancas.

Con la aplicación de las tres soluciones constructivas que se ven más acertadas, nos encontramos muy cerca de llegar al máximo de la demanda energética de calefacción y a la letra A en la calificación energética, sin embargo, no conseguimos alcanzarla.

Sin embargo, aún no se han agotado todas las técnicas de acondicionamiento pasivo que podemos incluir en esta vivienda.

Se conoce, que los tejados de la vivienda están realizadas mediante cubiertas de empalomado, que están ventiladas. Esta opción es muy buena para el verano, ya que permite ventilar el aire que se queda en este espacio no habitable, sin embargo, para el invierno este sistema no es tan efectivo, ya que debido a la ventilación de este, el aire que existe dentro del espacio no habitable que se va calentando a lo largo del día, se pierde por esta ventilación.

En este contexto, en el que la vivienda presenta una demanda de calefacción alta, que el empalomado esté ventilado no beneficia a la vivienda. Por lo que una buena solución sería impedir esta ventilación del empalomado, haciendo este espacio no habitable estanco. Esto beneficiaría a la eficiencia energética de la vivienda y se consigue de manera muy sencilla.

En el modelo informativo, se cambia estos espacios no habitables de un nivel de estanqueidad 4 (ventilado) a un nivel de estanqueidad 1 (el más estanco). Y se crean las siguientes hipótesis:

- **Modelo 34:** modelo 3 + modelo 7 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm). + cámaras estancas.
- **Modelo 35:** modelo 3 + modelo 6 + modelo 8+ cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.

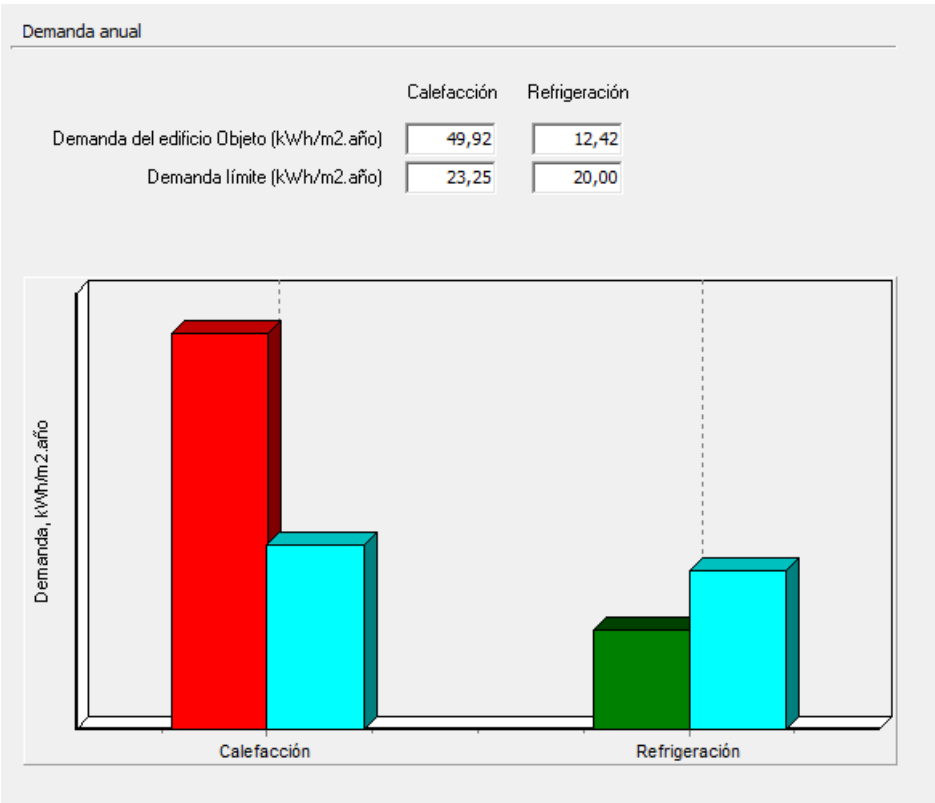
- **Modelo 36:** modelo 2 + modelo 7 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.
- **Modelo 37:** modelo 2 + modelo 6 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.
- **Modelo 38:** modelo 2 + modelo 5 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.
- **Modelo 39:** modelo 1 + modelo 5 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.
- **Modelo 40:** modelo 2 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.
- **Modelo 41:** modelo 3 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.

## **2.5 Simulación de demanda, consumo de energía final, consumo de energía primaria, emisiones de CO<sub>2</sub> y calificación energética de las hipótesis. Discusión de resultados.**

A continuación, se muestra una serie de fichas, en las que se describen todas las hipótesis que se han citado anteriormente y en ella se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de los modelos de: la demanda, el consumo de energía final, el consumo de energía primaria, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la calificación energética que el programa LIDER-CALENER nos proporciona. Además se hace una discusión de resultados de cada modelo.

# HIPÓTESIS SIMPLES

- **Modelo 0:** En este modelo se introduce el edificio con las mismas características constructivas que el modelo real excepto el patio. Se suprime la cubierta del patio central, por lo que ese espacio queda al exterior.



**Discusión resultados:**

Como se observa en la figura 2.34 al abrir el patio y estar expuesta una mayor superficie de la vivienda al exterior la demanda aumenta tanto en calefacción (un 20%) como en refrigeración (un 7,91%), ya que existen más fachadas en contacto con el exterior y el sol, el viento y la lluvia inciden de manera más directa. Por lo que esto no es una buena opción de rehabilitación energética. En la figura 2.35 también se observa como modelo es menos eficiente, se pasa de una calificación energética de una letra B a una C.

Figura 2.34 Demanda anual modelo 0 (Fuente: Elaboración propia.)

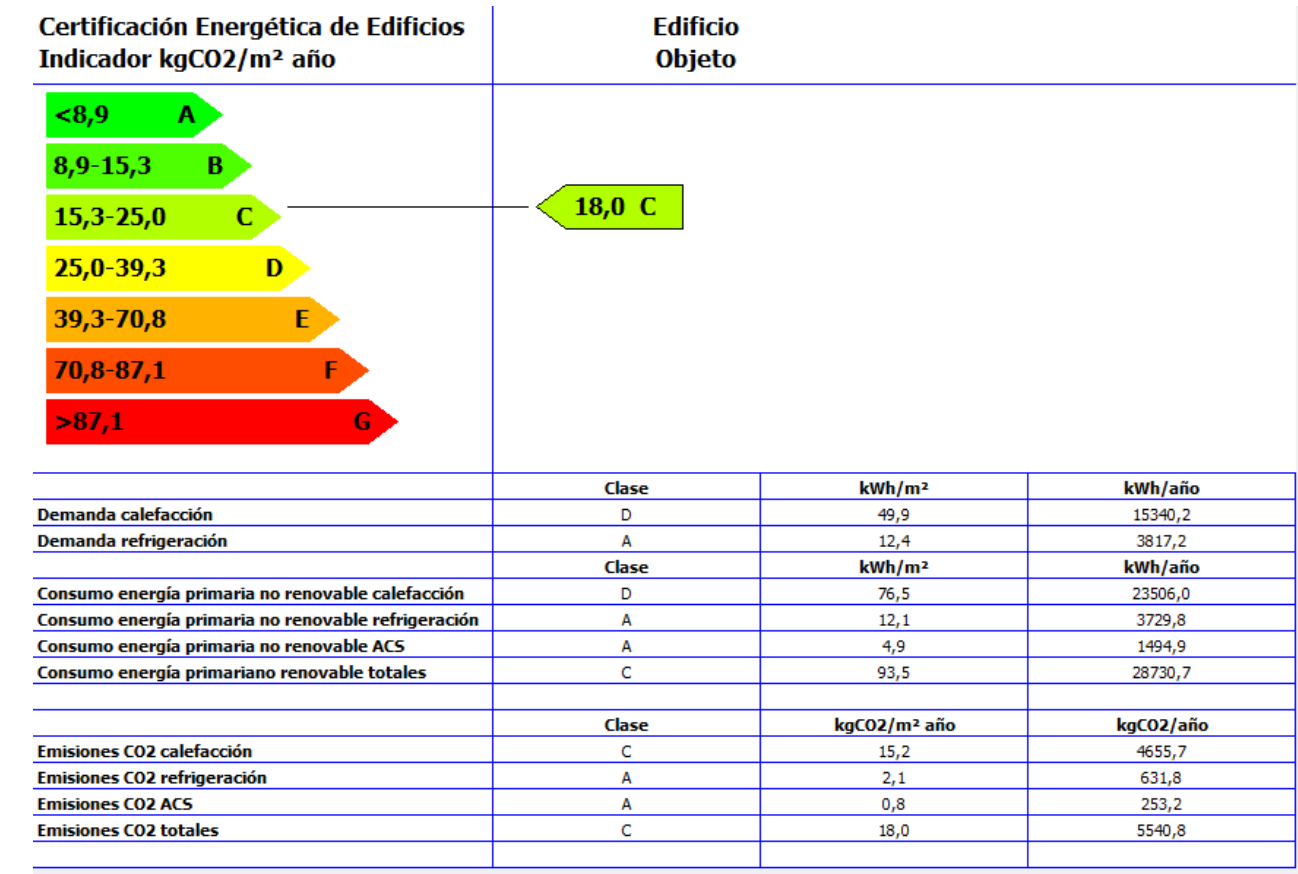


Figura 2.35 Certificación energética del modelo 0 (Fuente: Elaboración propia.)

FACHADA

- Modelo 1:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.

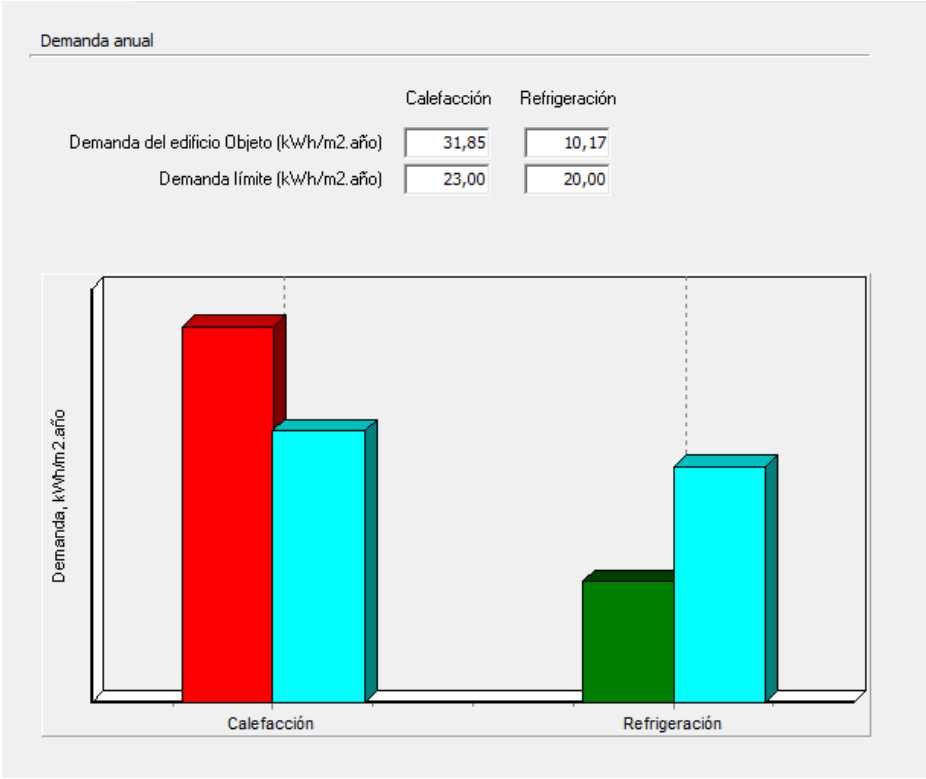


Figura 2.35 Demanda anual modelo 1 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.35 se observa que al introducir un sistema SATE se solucionan muchos de los puentes térmicos de la vivienda y la demanda anual disminuye tanto en calefacción (un 23,44%) como en refrigeración (un 11,64%), con una sola actuación se reduce en gran medida la demanda, y solo con un espesor de 3cm de aislamiento. Como se observa en la figura 2.36 en el certificado de eficiencia energética se sigue obteniendo la letra B (como en el modelo real) pero se disminuye en un 21,85 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, por lo que ya se estarían cumpliendo una parte de los objetivos de H2020.

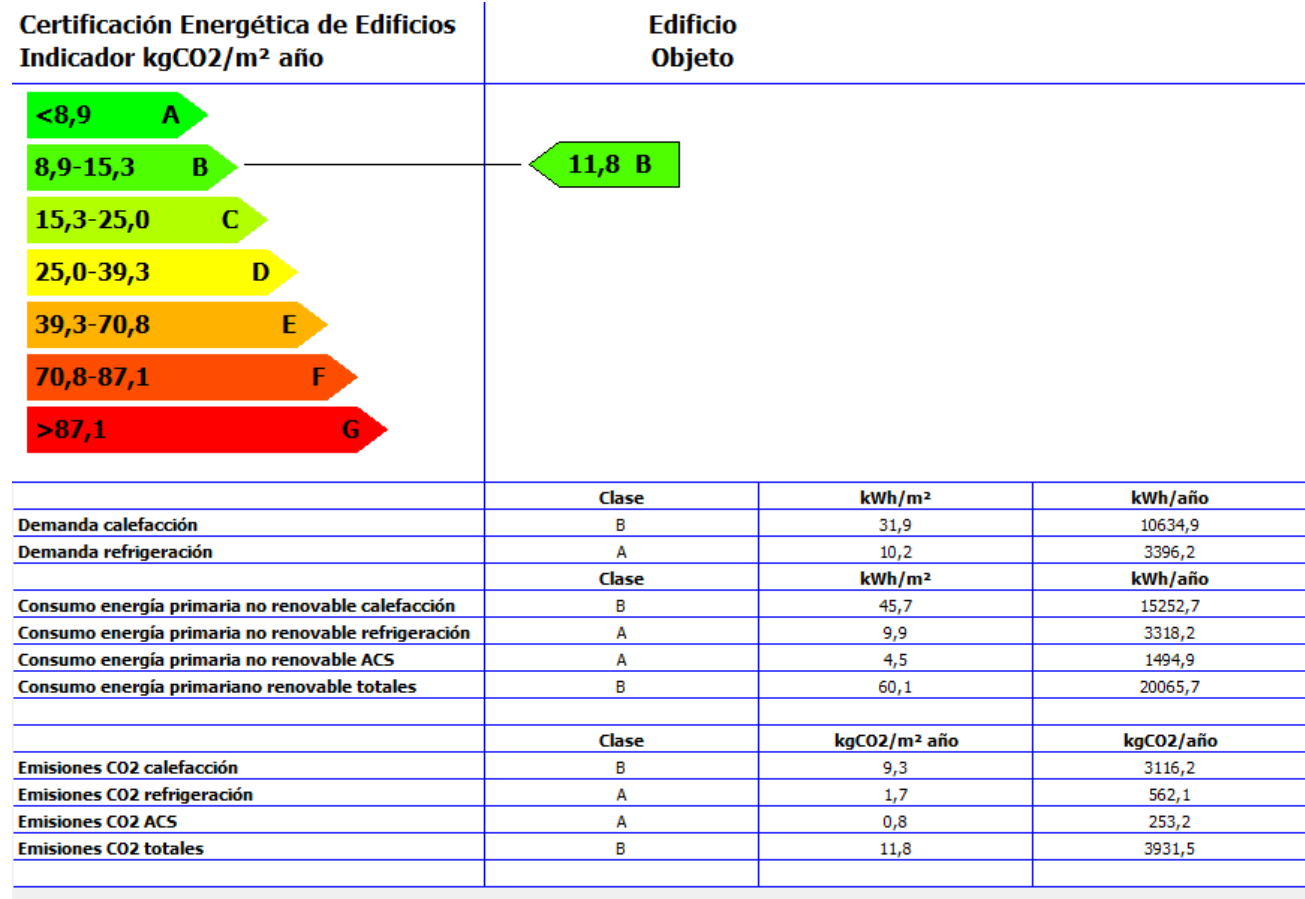
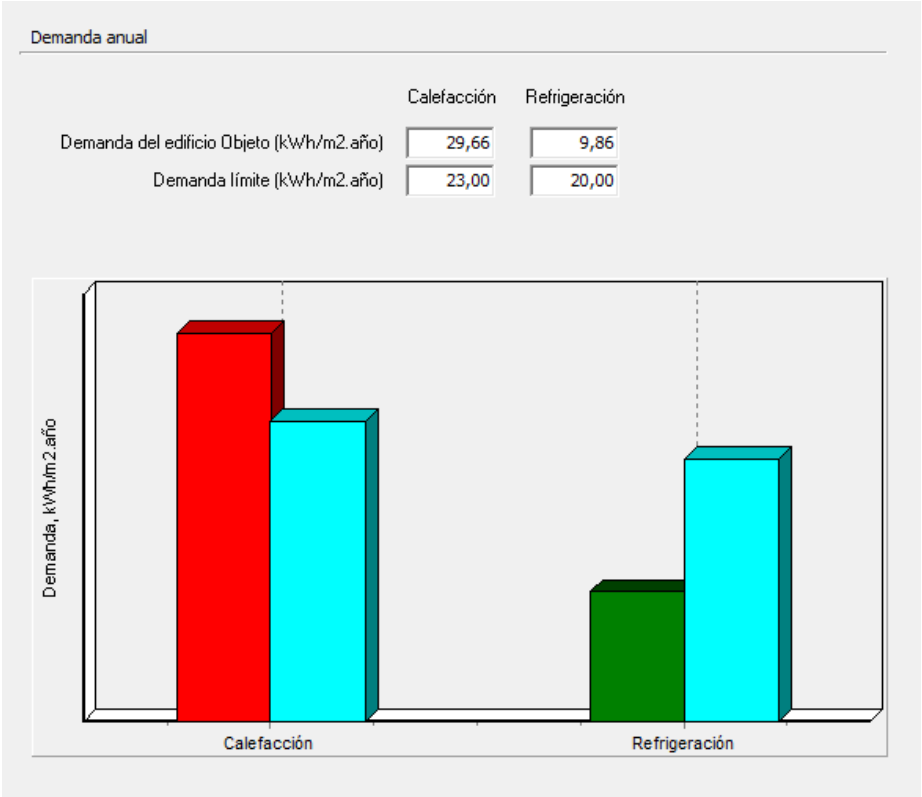


Figura 2.36 Certificación energética del modelo 1 (Fuente: Elaboración propia.)

FACHADA

- Modelo 2:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.



Discusión resultados:

Respecto al modelo real en la figura 2.37 se observa como se reduce tanto la demanda de calefacción en un 28,70% como la demanda de refrigeración un 14,34%. Por lo que se consigue reducir de manera significativa la demanda anual solo utilizando un SATE de espesor 5cm.

En la figura 2.38 se observa como se reduce un 27,15% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, pero respecto al modelo actual sigue obteniendo la calificación energética con la letra B.

Figura 2.37 Demanda anual modelo 2 (Fuente: Elaboración propia.)

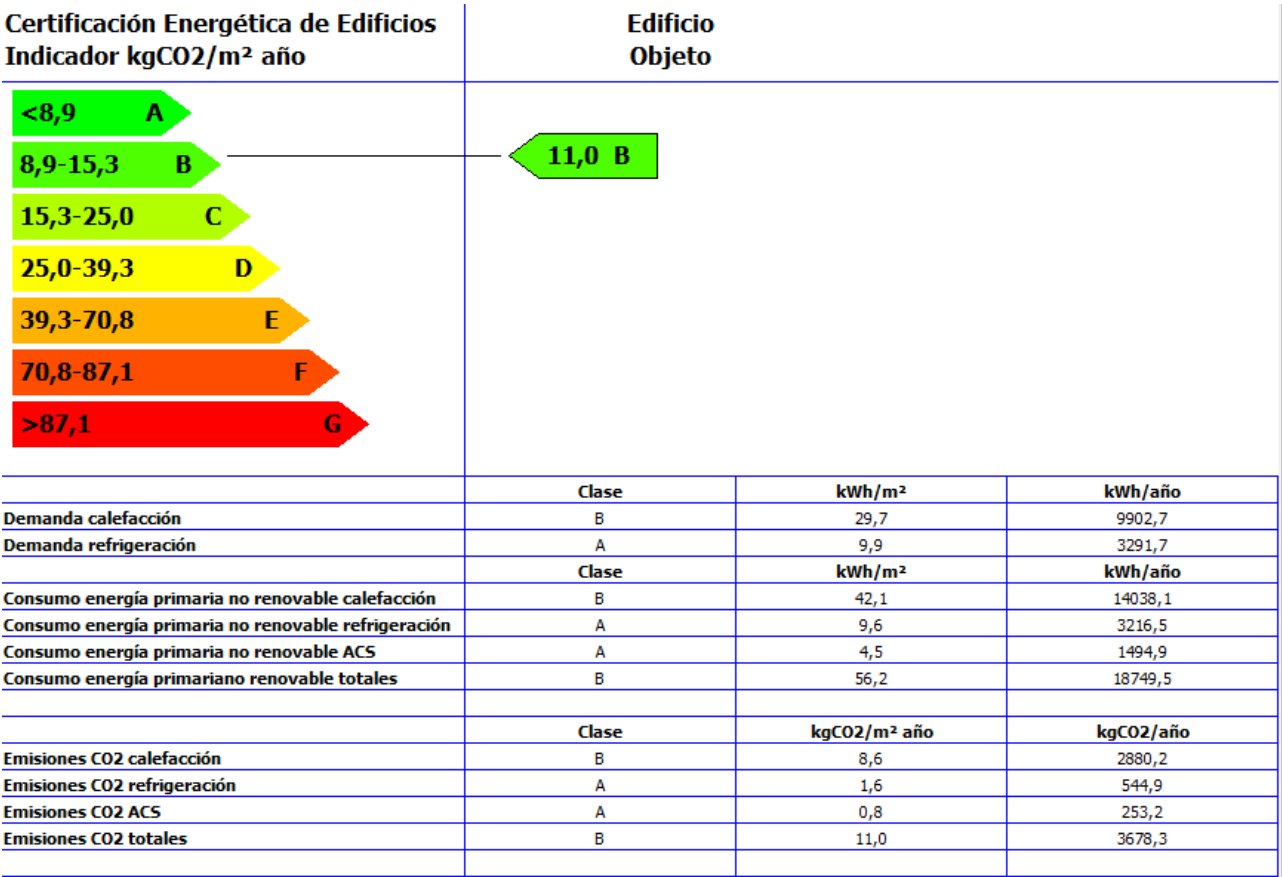
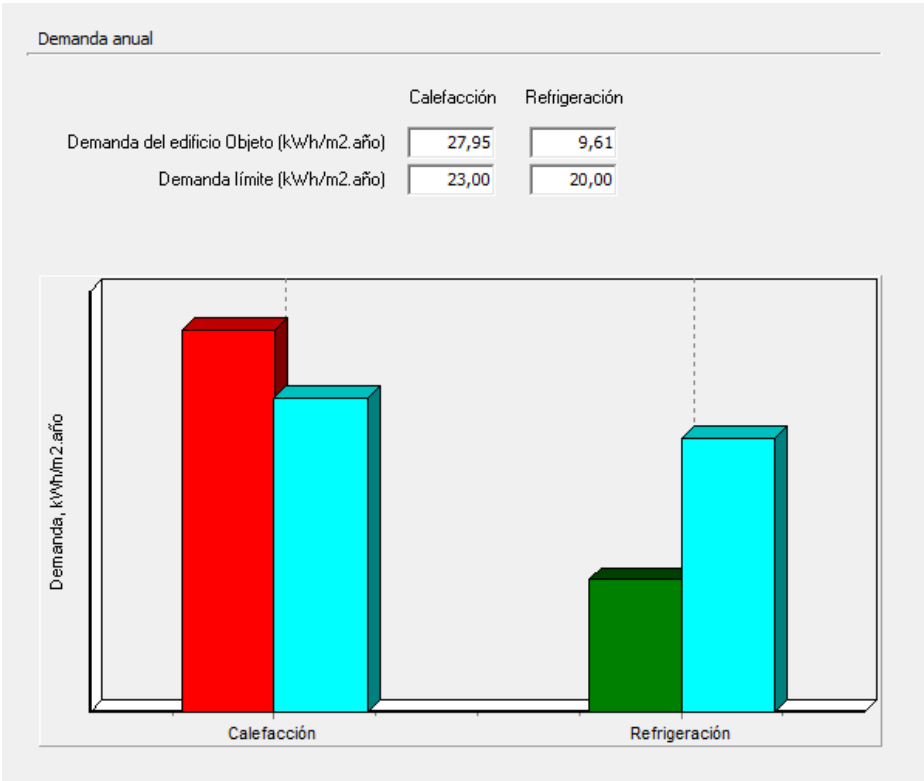


Figura 2.38 Certificación energética del modelo 2 (Fuente: Elaboración propia.)



FACHADA

- **Modelo 3:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona.



Discusión resultados:

En la figura 2.39 se observa como se reduce tanto la demanda de calefacción en un 32,81% como la demanda de refrigeración un 16,51% respecto al modelo real. Sin embargo aquí ya se va observando como seguir aumentando el aislamiento no va a producir reducciones de la demanda mucho mayores, en este modelo respecto al anterior solo se reduce un 5% la demanda de calefacción y un 2% la de refrigeración, por lo que no se crearán modelo con un aislamiento mayor a 8cm.En la figura 2.40 se observa como se reduce un 31,13% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año.

Figura 2.39 Demanda anual modelo 3 (Fuente: Elaboración propia.)

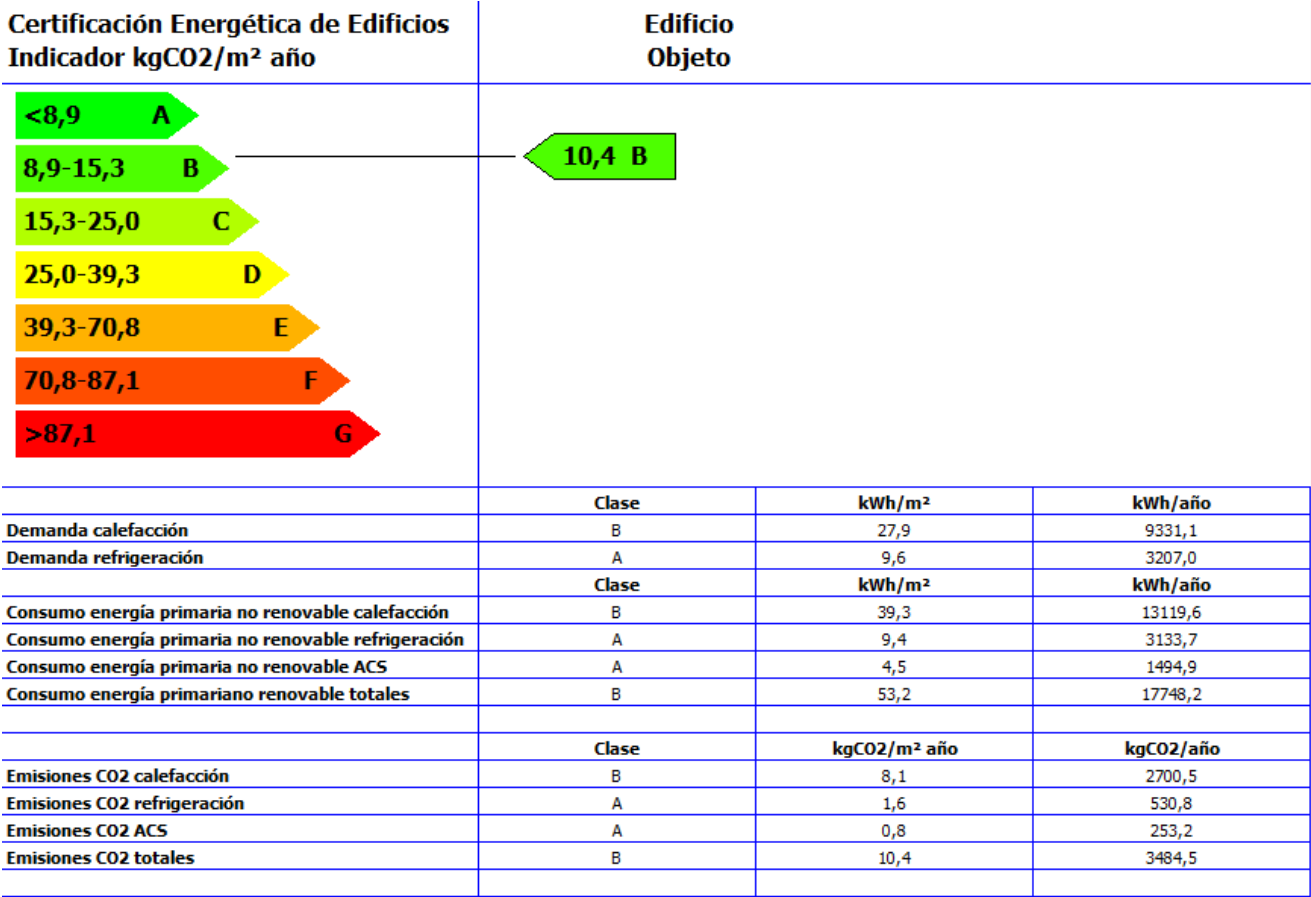
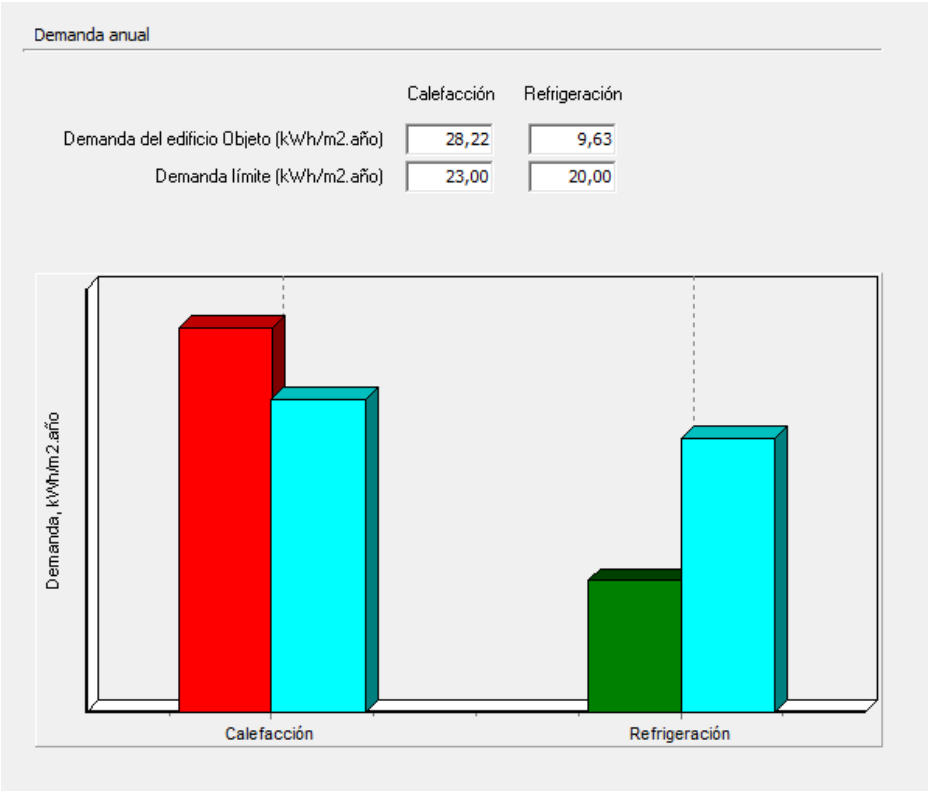


Figura 2.40 Certificación energética del modelo 3 (Fuente: Elaboración propia.)

FACHADA

- Modelo 4:** Se introduce en el programa el sistema SATE, con aislamiento de lana mineral (0,04) W/m K de espesor 8 cm, cambiando los puentes térmicos que este sistema soluciona y observamos que con el mismo espesor el EPS (0,037) W/m K, disminuye un poco más la demanda, por lo que el aislante que utilizaremos será el EPS.



Discusión resultados:

En la figura 2.41 se observa como se reduce tanto la demanda de calefacción en un 32,16% como la demanda de refrigeración un 16,33%. Valores muy parecidos, pero algo mayores de las demandas, por lo que no se sigue probando con este aislante y sí con el EPS, ya que se han obtenido resultado levemente mejores con el mismo espesor y el mismo sistema de rehabilitación

En la figura 2.42 se observa como se reduce un 30,46 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real.

Figura 2.41 Demanda anual modelo 4 (Fuente: Elaboración propia.)

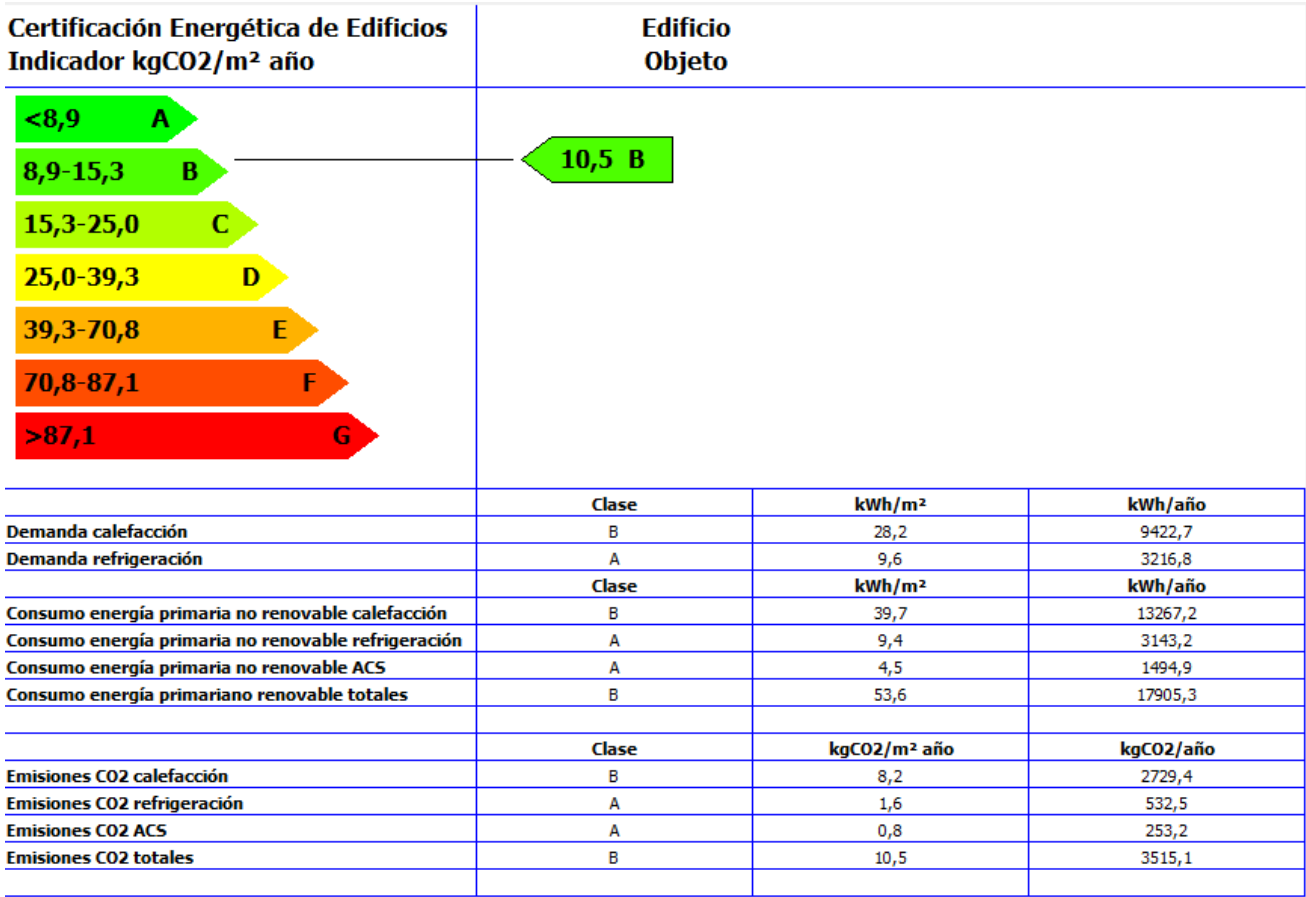


Figura 2.42 Certificación energética del modelo 4 (Fuente: Elaboración propia.)

CUBIERTA

- Modelo 5: Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.

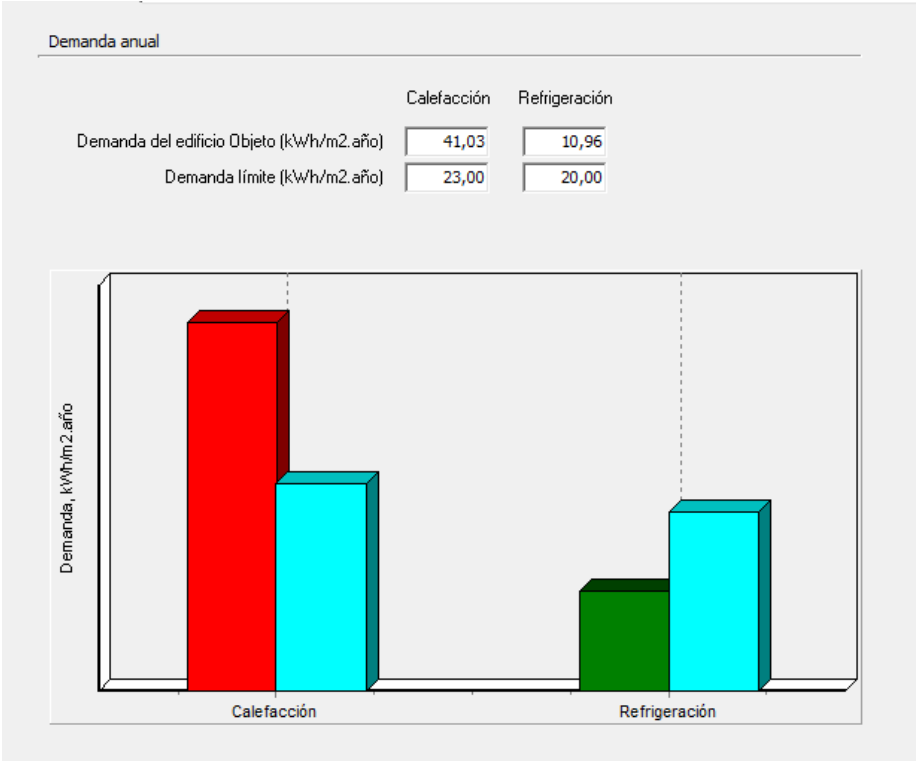


Figura 2.43 Demanda anual modelo 5 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

Respecto al modelo real las demandas disminuyen de manera muy moderada, un 1,37% la de calefacción y un 4,78% la de refrigeración. Esta solución constructiva tomada para la rehabilitación produce una disminución muy baja de la demanda anual a pesar de la gran superficie existente de cubiertas.

En la figura 2.44 se observa como se reduce un 1,99 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real, una disminución muy baja.

Por lo que este sistema con este espesor no es el más apropiado para la rehabilitación energética

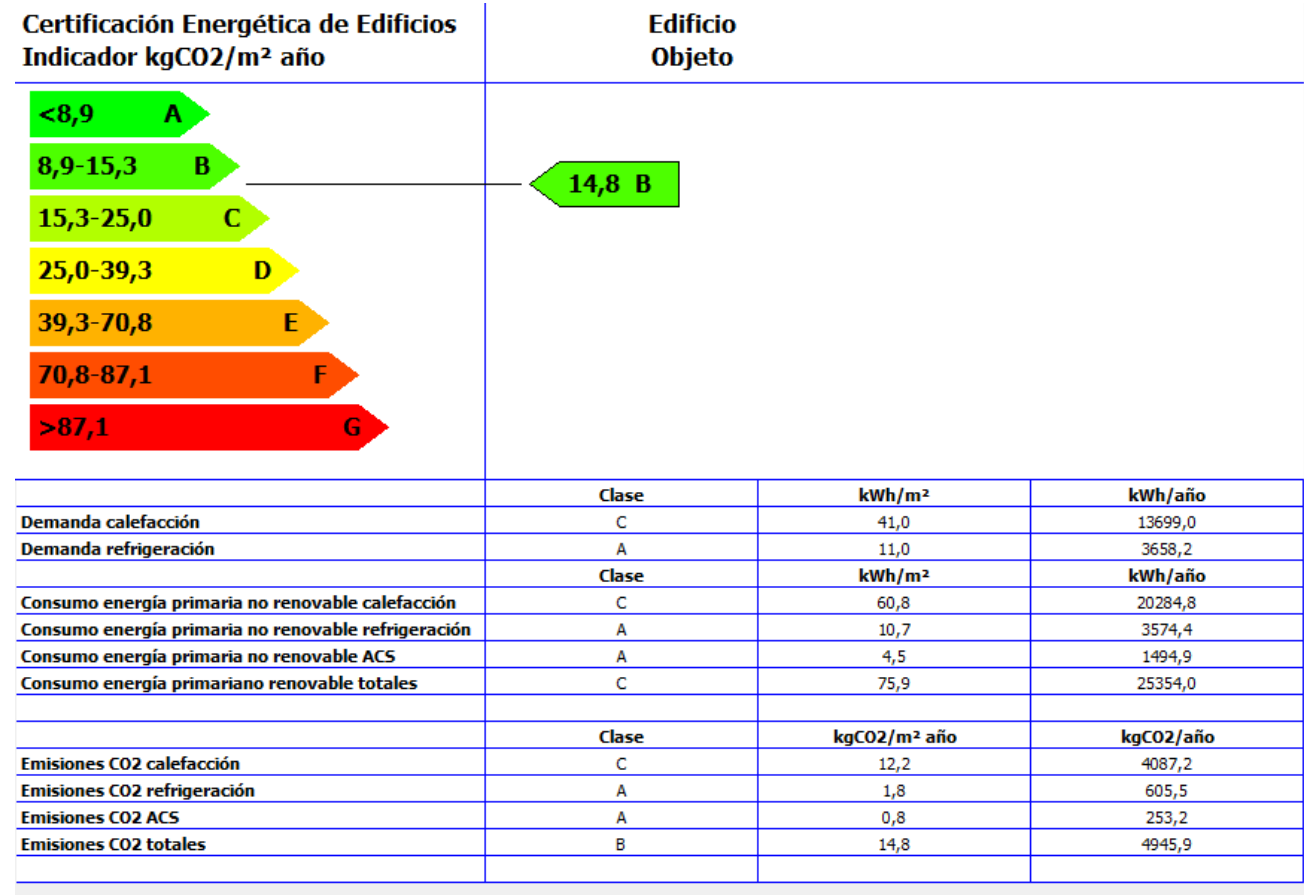
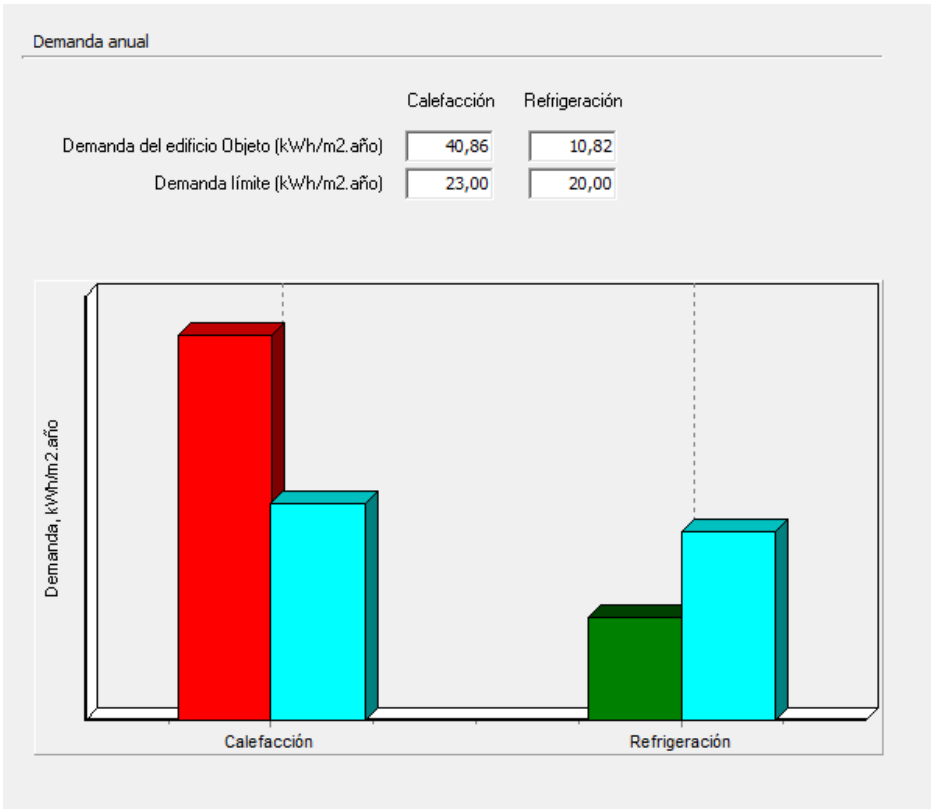


Figura 2.44 Certificación energética del modelo 5 (Fuente: Elaboración propia.)

CUBIERTA

- **Modelo 6:** Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K= 5 cm.



Discusión resultados:

En la figura 2.45 se observa como las demandas disminuyen respecto al modelo real, aunque de manera poco significativa también como en el modelo 5, un 1,78% la de calefacción y un 5,99% la de refrigeración. Por lo que tampoco es la opción simple más adecuada para la rehabilitación

En la figura 2.46 se observa como se reduce un 2,65 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real.

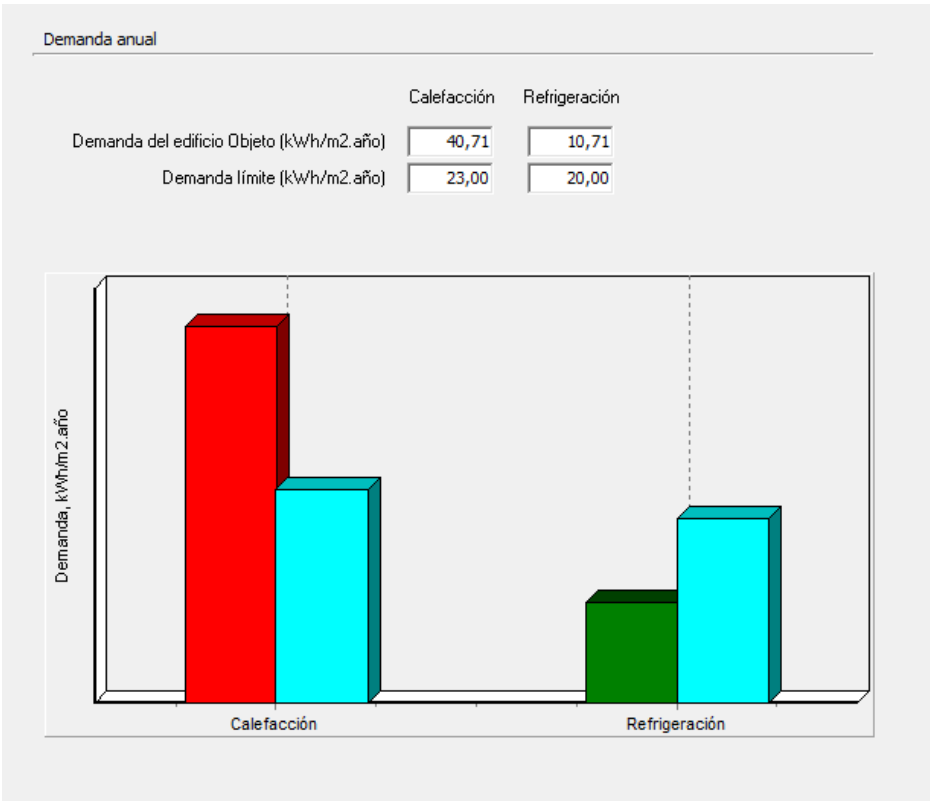
Figura 2.45 Demanda anual modelo 6 (Fuente: Elaboración propia.)

Certificación Energética de Edificios		Edificio	
Indicador kgCO2/m² año		Objeto	
<div><div>&lt;8,9 A</div><div>8,9-15,3 B</div><div>15,3-25,0 C</div><div>25,0-39,3 D</div><div>39,3-70,8 E</div><div>70,8-87,1 F</div><div>&gt;87,1 G</div></div>		<div>14,7 B</div>	
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Demanda calefacción	C	40,9	13642,7
Demanda refrigeración	A	10,8	3613,1
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	C	60,5	20203,1
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	10,6	3530,4
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primariano renovable totales	C	75,6	25228,4
	Clase	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	C	12,2	4070,6
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,8	598,0
Emisiones CO2 ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO2 totales	B	14,7	4921,9

Figura 2.46 Certificación energética del modelo 6 (Fuente: Elaboración propia.)

CUBIERTA

- Modelo 7: Se introduce en el programa aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8 cm.



Discusión resultados:

En la Figura 2.47 se observan como las demandas de calefacción y refrigeración en este modelo 7 y del anterior modelo 6 son prácticamente iguales, por lo que aumentar el espesor del aislamiento en esta solución constructiva tomada para la rehabilitación energética los valores no varían, por lo que no es eficiente seguir aumentando el espesor de aislamiento. En las hipótesis combinadas veremos al combinar varias soluciones constructivas y al aumentar espesores del aislamiento ocurre lo mismo.

Figura 2.47 Demanda anual modelo 7 (Fuente: Elaboración propia.)

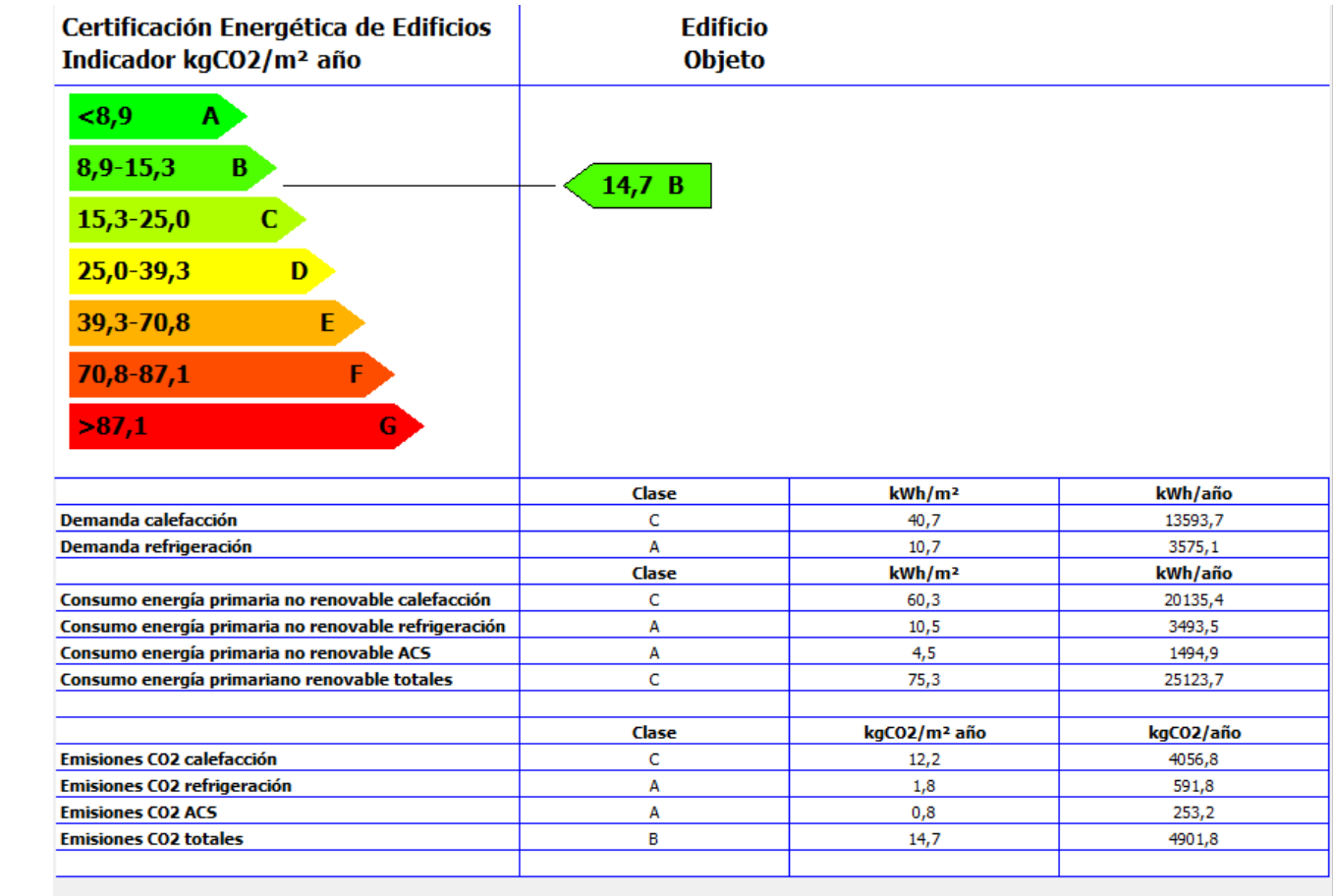
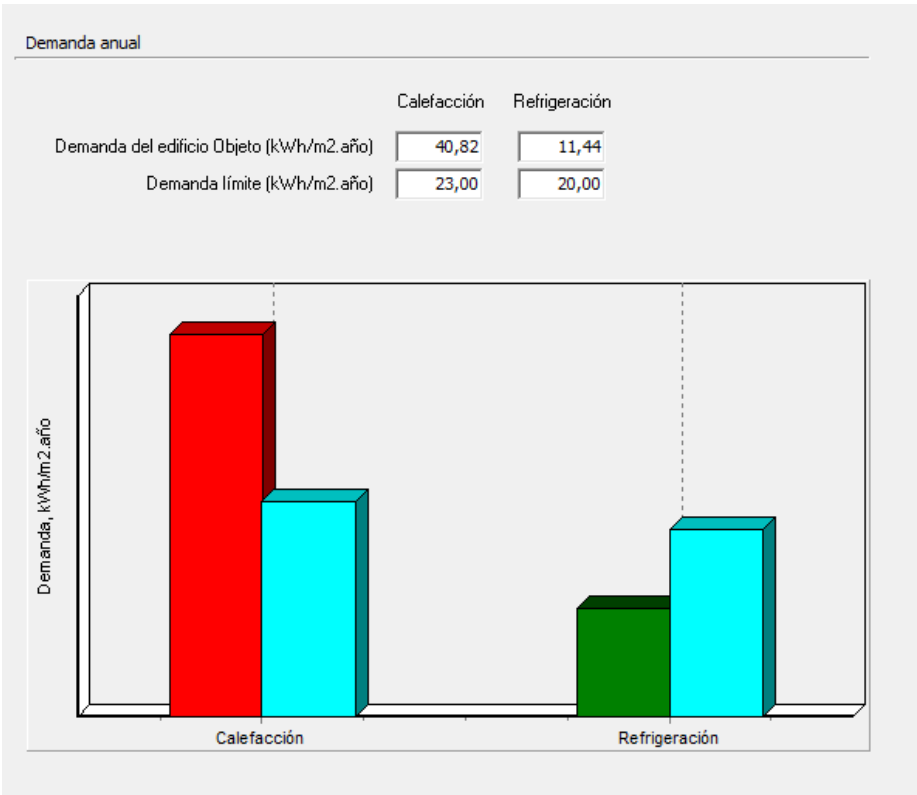


Figura 2.48 Certificación energética del modelo 7 (Fuente: Elaboración propia.)

HUECOS

- **Modelo 8:** Se sustituyen las actuales ventanas metálicas antiguas, de un vidrio monolítico, sin rotura de puente térmico. Por unas ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm)



Discusión resultados:

En la figura 2.49 se observa como las demandas disminuyen respecto al modelo real, un 1,88% la de calefacción y un 0,87% la de refrigeración. Por lo que tampoco es la opción simple más adecuada para la rehabilitación por si sola, ya que consigue reducir muy poco la demanda anual.

En la figura 2.49 se observa como se reduce un 1,99 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real.

Figura 2.49 Demanda anual modelo 8 (Fuente: Elaboración propia.)

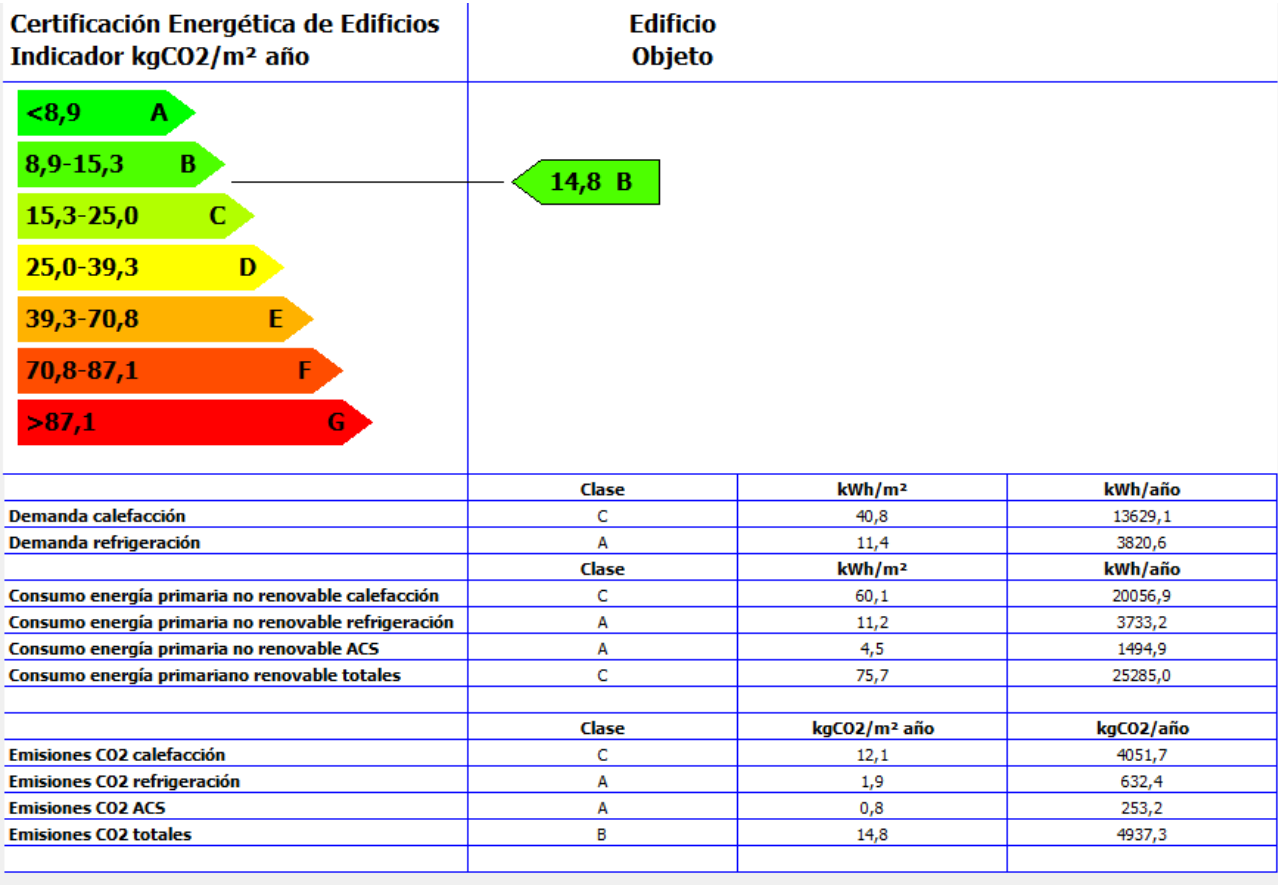
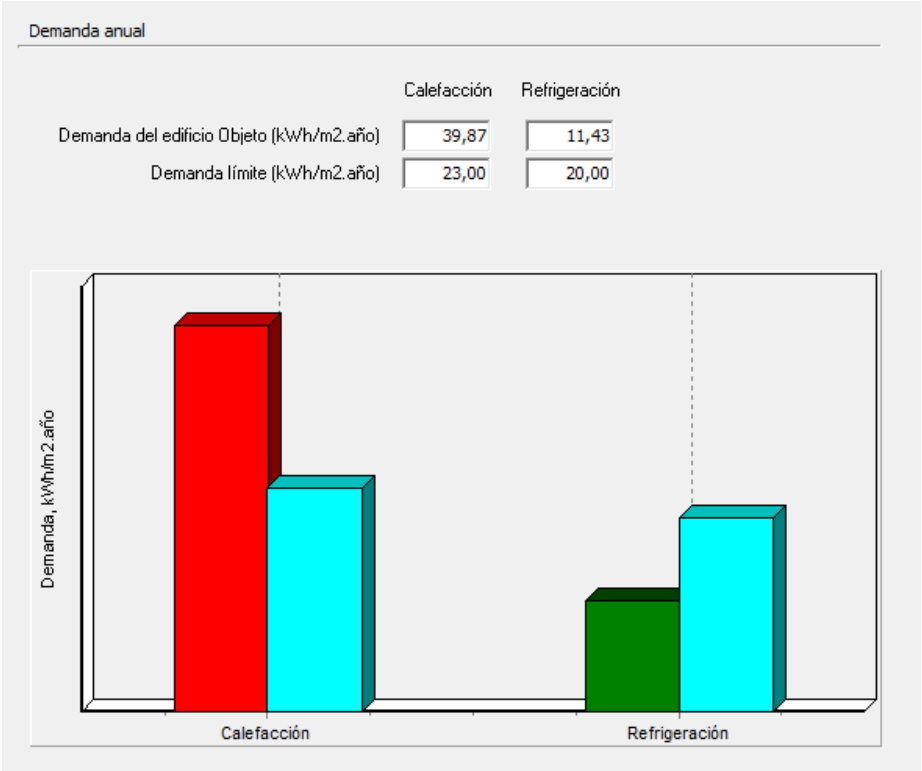


Figura 2.50 Certificación energética del modelo 8 (Fuente: Elaboración propia.)

HUECOS

- **Modelo 9:** Se sustituyen las actuales ventanas de metálicas por las del modelo 8 además de introducir una doble ventana en las ventanas de madera (que en el programa informático se consigue, aumentando el espesor de la cámara de aire del doble vidrio, ya que no deja introducir una doble ventana).



**Discusión resultados:**

Esta opción se deshecha rápidamente, ya que no se cree la veracidad al cien por cien de esta hipótesis por la manera en la que hay que simular esta doble ventana, y que el cambio en la demanda no es muy significativo. Además, en una edificación antigua, como es este caso en la que existen ventanas de madera solo en la fachada principal (5 ventanas y 1 puerta) no se ve necesario la implementación de una doble ventana para poder mantener la estética antigua.

Figura 2.51 Demanda anual modelo 9 (Fuente: Elaboración propia.)

# HIPÓTESIS COMPUESTAS



SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 10: modelo 1 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.

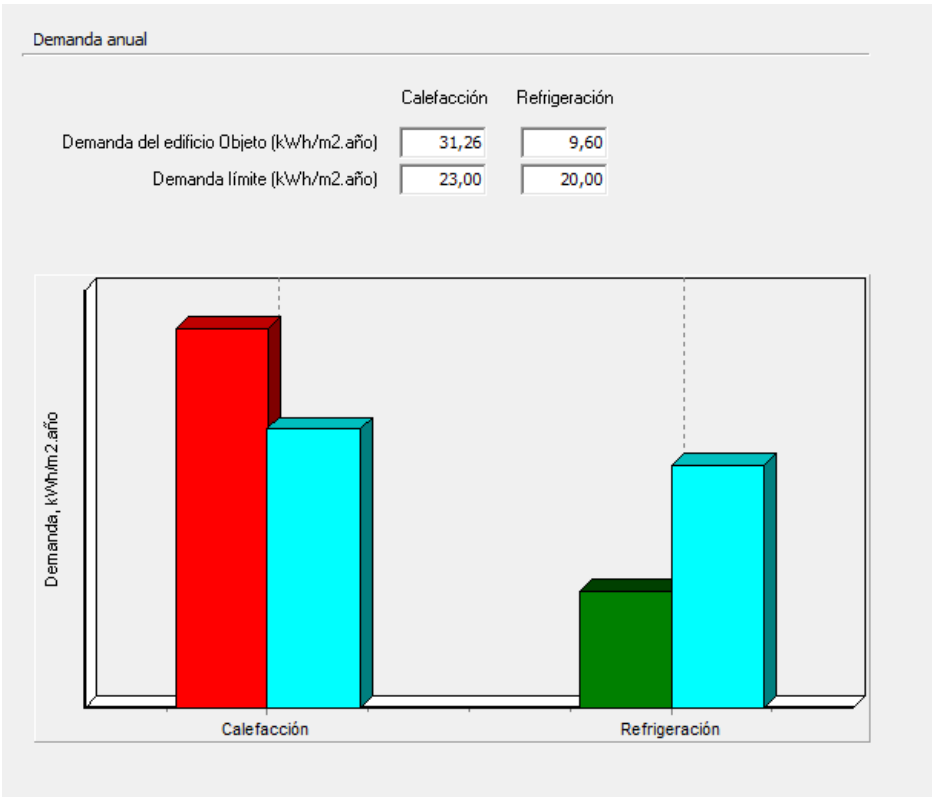


Figura 2.52 Demanda anual modelo 10 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.52 se observa que al introducir dos soluciones constructivas de rehabilitación en un mismo modelo la demanda disminuye de forma muy significativa tanto en calefacción un 24,86%, como en refrigeración un 16,59%, por lo que esta combinación es efectiva. En la figura 2.53 en el certificado de eficiencia energética se sigue obteniendo la letra B (como en el modelo real) pero se disminuye en un 23,84 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año.

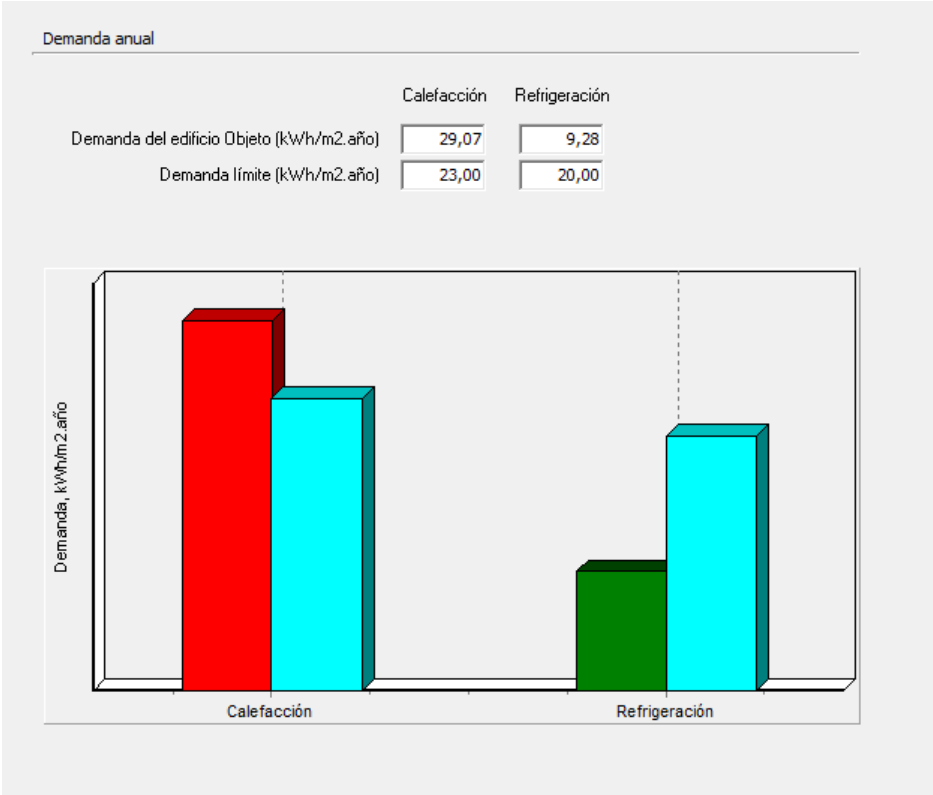
Es el modelo más eficiente hasta ahora, por lo que continuamos realizando más combinaciones con distintos espesores de aislamiento

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO2/m² año	Edificio Objeto		
<8,9 A			
8,9-15,3 B	11,5 B		
15,3-25,0 C			
25,0-39,3 D			
39,3-70,8 E			
70,8-87,1 F			
>87,1 G			
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Demanda calefacción	B	31,3	10437,8
Demanda refrigeración	A	9,6	3204,4
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	44,8	14961,8
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	9,4	3130,7
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primario no renovable totales	B	58,7	19587,4
	Clase	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	B	9,2	3057,7
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,6	530,3
Emisiones CO2 ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO2 totales	B	11,5	3841,2

Figura 2.53 Certificación energética del modelo 10 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 11: modelo 2 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm.



Discusión resultados:

En la figura 2.54 se observa como se reduce de manera muy importante la demanda anual respecto al modelo real. Se reduce un 30,12 % la demanda de calefacción y un 19,37% la demanda de

En la figura 2.55 se observa como disminuye de manera significativa las emisiones de kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, aunque sigamos obteniendo la calificación energética con la letra B, este modelo presenta mejoras significativas. Se reduce un 29,14% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año.

Figura 2.54 Demanda anual modelo 11 (Fuente: Elaboración propia.)

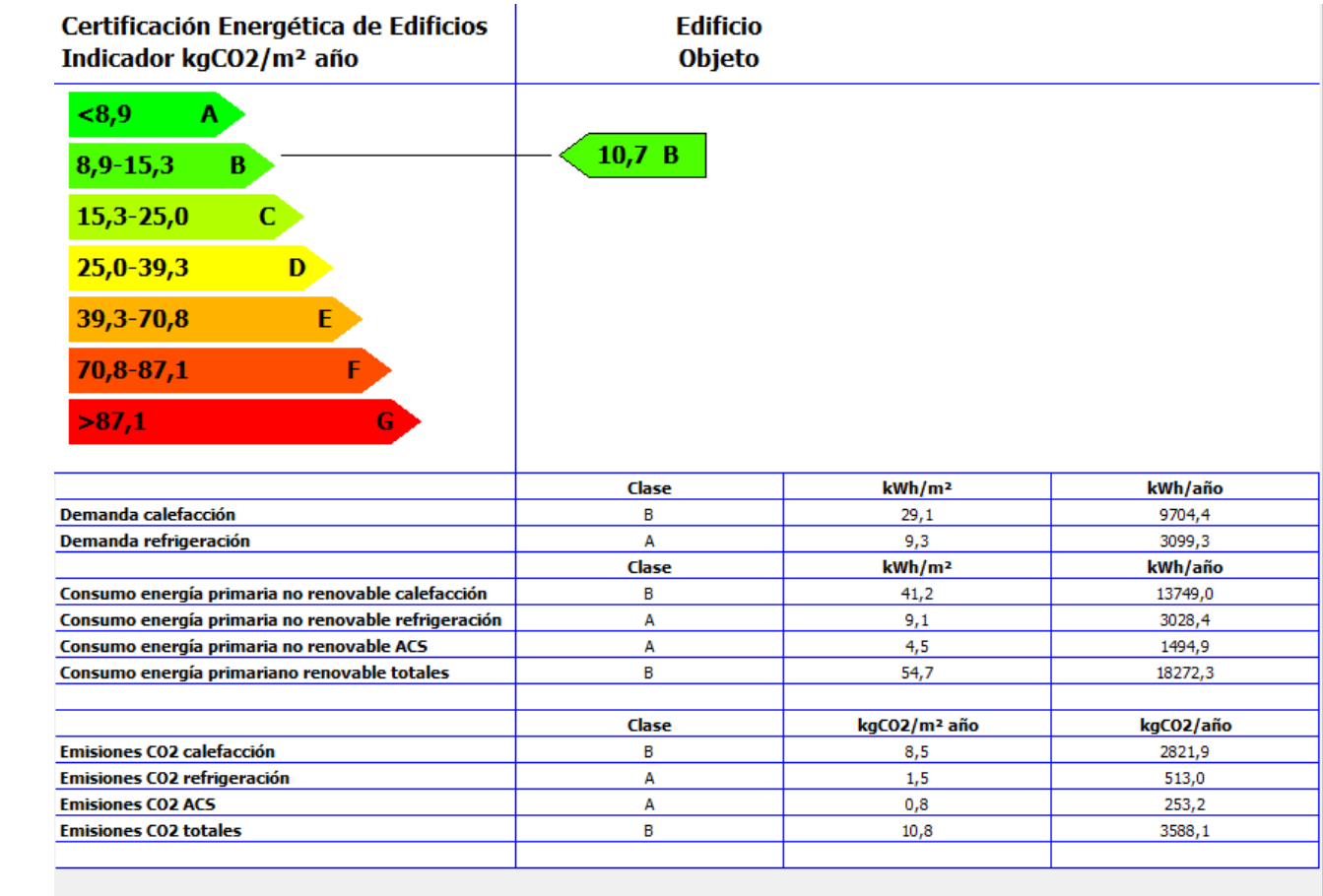
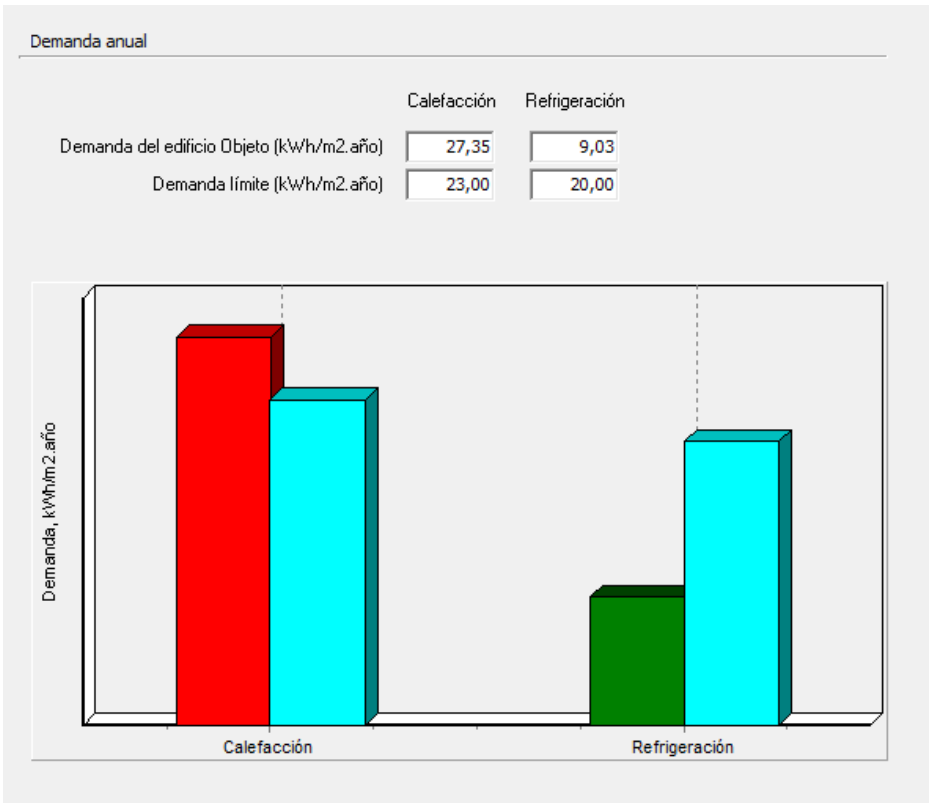


Figura 2.55 Certificación energética del modelo 11 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 12: modelo 3 + modelo 5; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3 cm.



Discusión resultados:

En este modelo se obtiene una reducción de la demanda de gran relevancia En la figura 2.56 se observa como se reduce un 34,25 % la demanda de calefacción y un 21,55% la demanda de refrigeración. Aunque la reducción es muy significativa, no varía tanto respecto al modelo anterior, por lo que se continúa probando con todas las combinaciones de modelos simples posibles

En la figura 2.57 se observa como reduce un 32,45% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, aunque se sigue manteniendo la letra B.

Figura 2.56 Demanda anual modelo 12 (Fuente: Elaboración propia.)

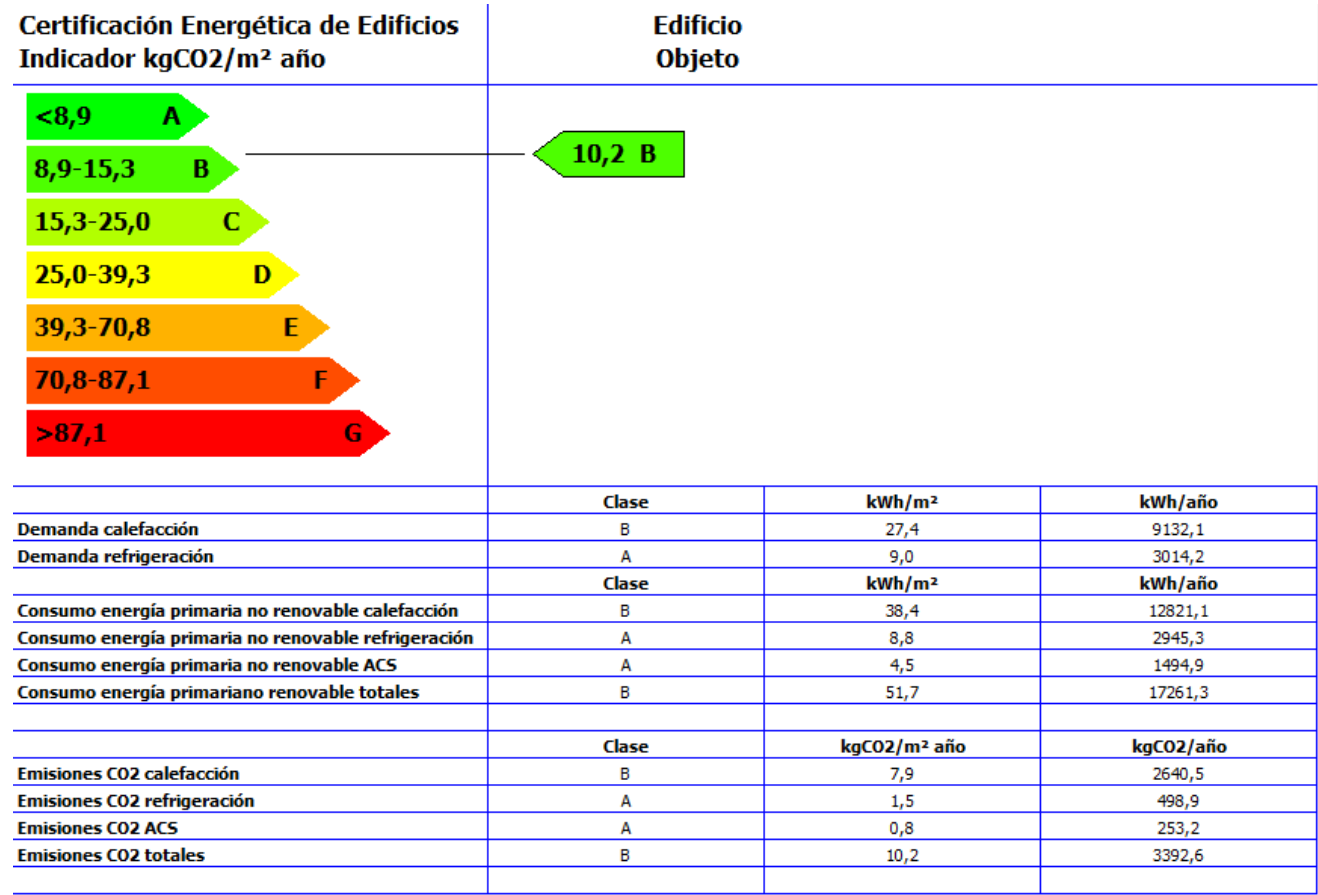


Figura 2.57 Certificación energética del modelo 12 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 13: modelo 1 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.

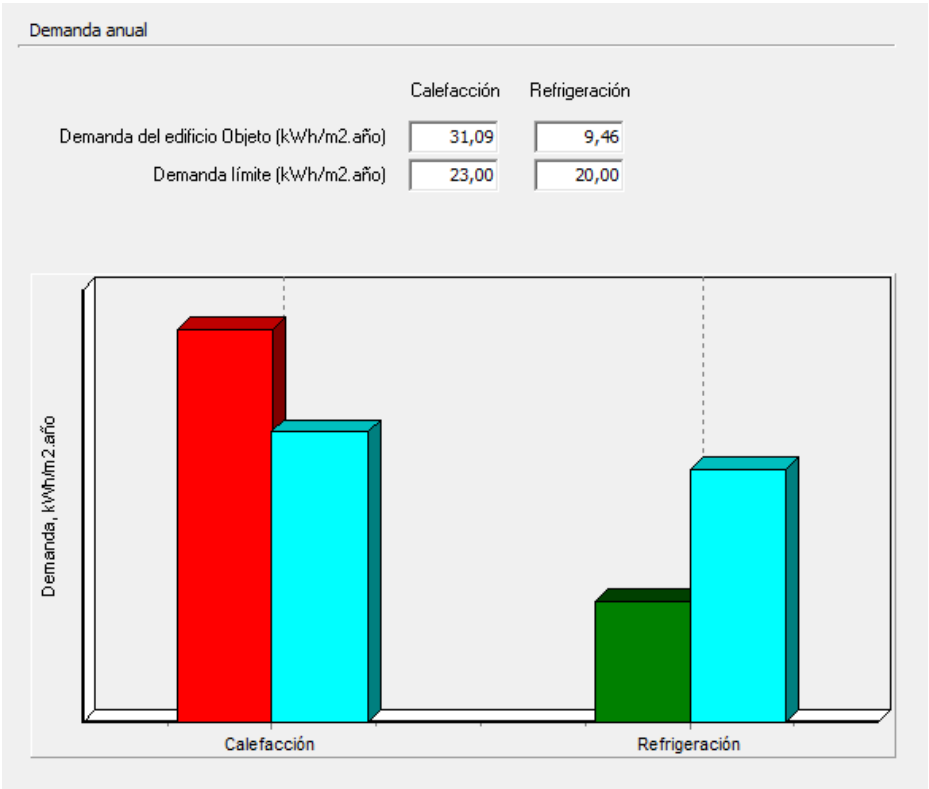


Figura 2.58 Demanda anual modelo 13 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

Los resultados obtenidos en este modelo son muy parecidos a los del modelo 11 con una pequeña mejora. En la figura 2.58 se observa como se reduce un 25,26 % la demanda de calefacción y un 17,71% la demanda de refrigeración respecto al modelo real.

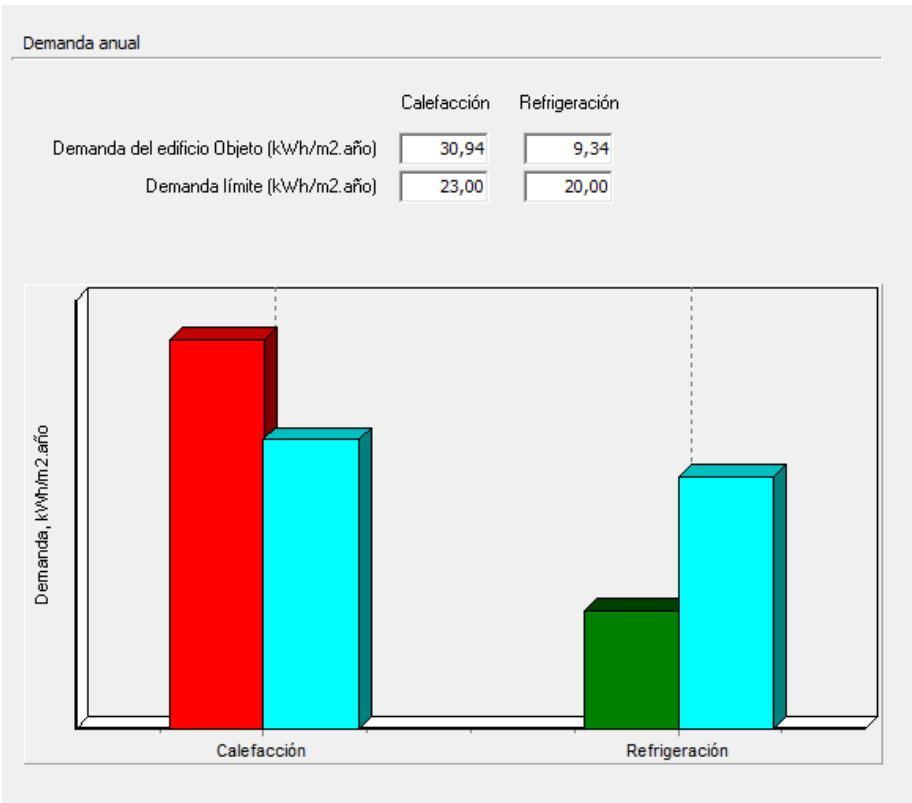
En la figura 2.59 se observa como reduce un 24,50% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real, aunque se sigue manteniendo la letra B.

Certificación Energética de Edificios	Edificio Objeto		
Indicador kgCO2/m² año			
<8,9 A			
8,9-15,3 B	11,4 B		
15,3-25,0 C			
25,0-39,3 D			
39,3-70,8 E			
70,8-87,1 F			
>87,1 G			
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Demanda calefacción	B	31,1	10379,7
Demanda refrigeración	A	9,5	3157,3
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	44,6	14882,7
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	9,2	3084,7
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primario renovable totales	B	58,3	19462,2
	Clase	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	B	9,1	3041,5
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,6	522,5
Emisiones CO2 ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO2 totales	B	11,4	3817,2

Figura 2.59 Certificación energética del modelo 13 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 14: modelo 1 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.



Discusión resultados:

Los resultados obtenidos en este modelo presentan mucha similitud con el modelo anterior ya que como hemos comentado en otro modelo, se observa como al ir aumentando el aislamiento a veces se obtienen resultados parecidos con una cierta mejora. En la figura 2.60 se observa como se reduce un 25,63 % la demanda de calefacción y un 18,83% la demanda de refrigeración respecto al modelo real.

En la figura 2.61 se observa como reduce un 24,50% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, se produce la misma reducción que en el modelo anterior.

Figura 2.60 Demanda anual modelo 14 (Fuente: Elaboración propia.)

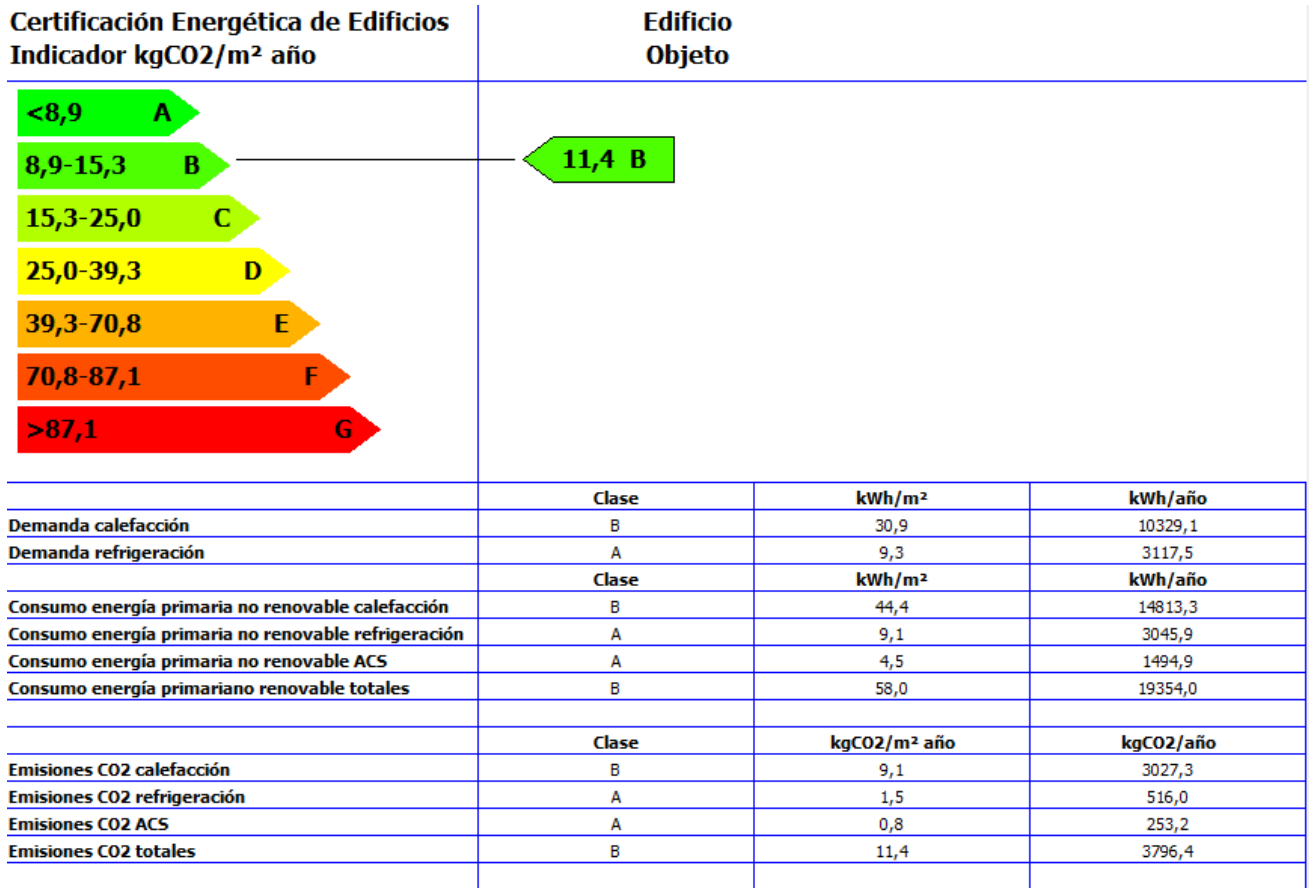
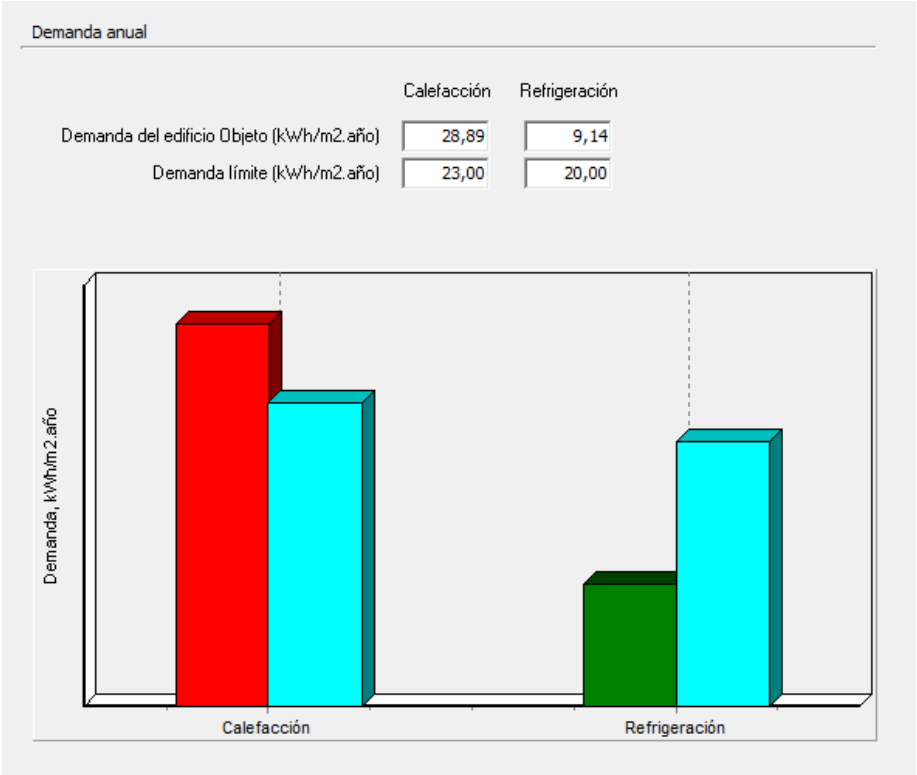


Figura 2.61 Certificación energética del modelo 14 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 15:** modelo 2 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.



Discusión resultados:

En este modelo se observa como se disminuye de manera importante la demanda anual del edificio. En la figura 2.62 se observa como se reduce un 30,55 % la demanda de calefacción y un 20,59% la demanda de refrigeración respecto al modelo real, unos de los modelos que más reduce la demanda anual hasta ahora.

En la figura 2.63 se observa como reduce un 29,14% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, la misma reducción que se produce en el modelo 11.

Figura 2.62 Demanda anual modelo 15 (Fuente: Elaboración propia.)

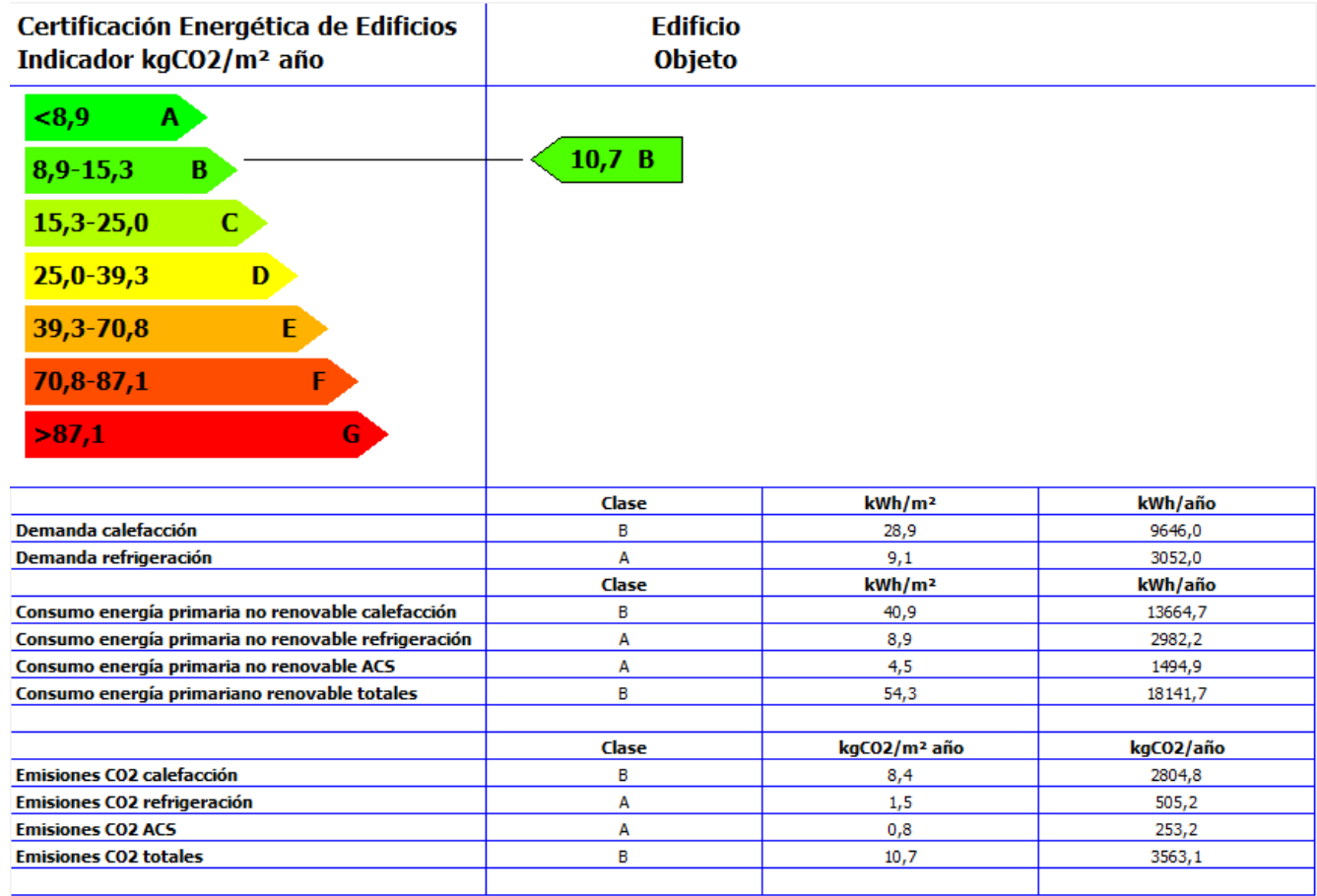


Figura 2.63 Certificación energética del modelo 15 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- **Modelo 16:** modelo 2 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.

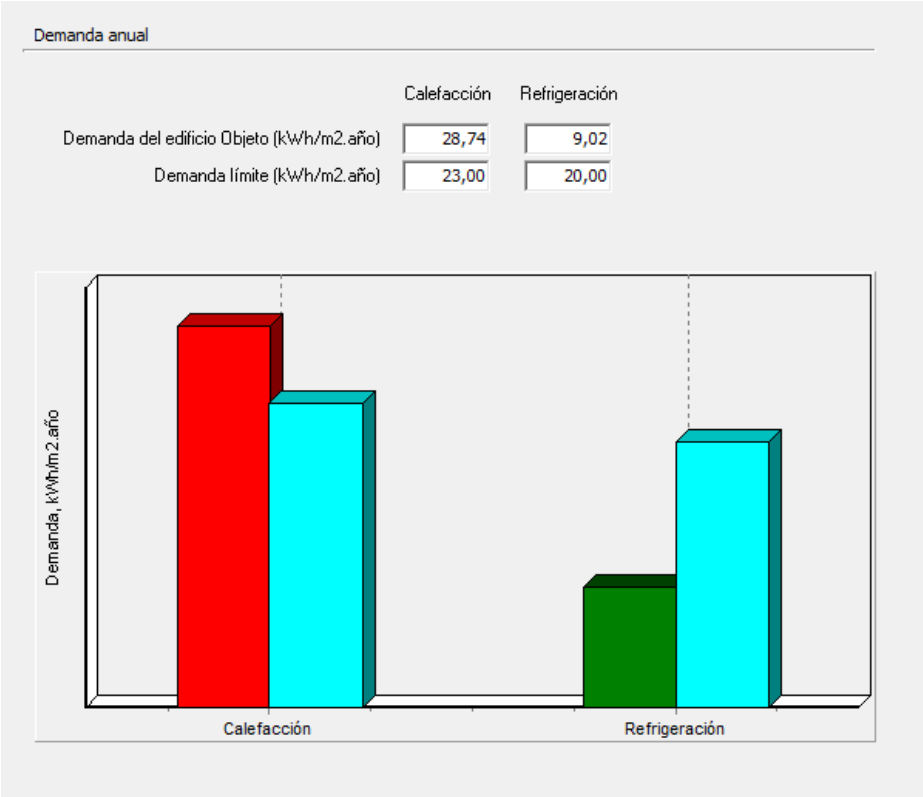


Figura 2.64 Demanda anual modelo 16 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En este modelo se obtienen unos valores de las demandas casi iguales que en el modelo anterior, lo que quiere decir que poner aislamiento de 8cm o de 5 cm desde el interior en las cubiertas no varía a penas los resultados obtenidos, por lo que por ahorro de material, sería más rentable económicamente y energéticamente utilizar un espesor menor. reduce la demanda anual hasta ahora.

En la figura 2.65 se observa como reduce un 29,80% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año, una reducción en la que el porcentaje no varía ni un 1% respecto al modelo anterior.

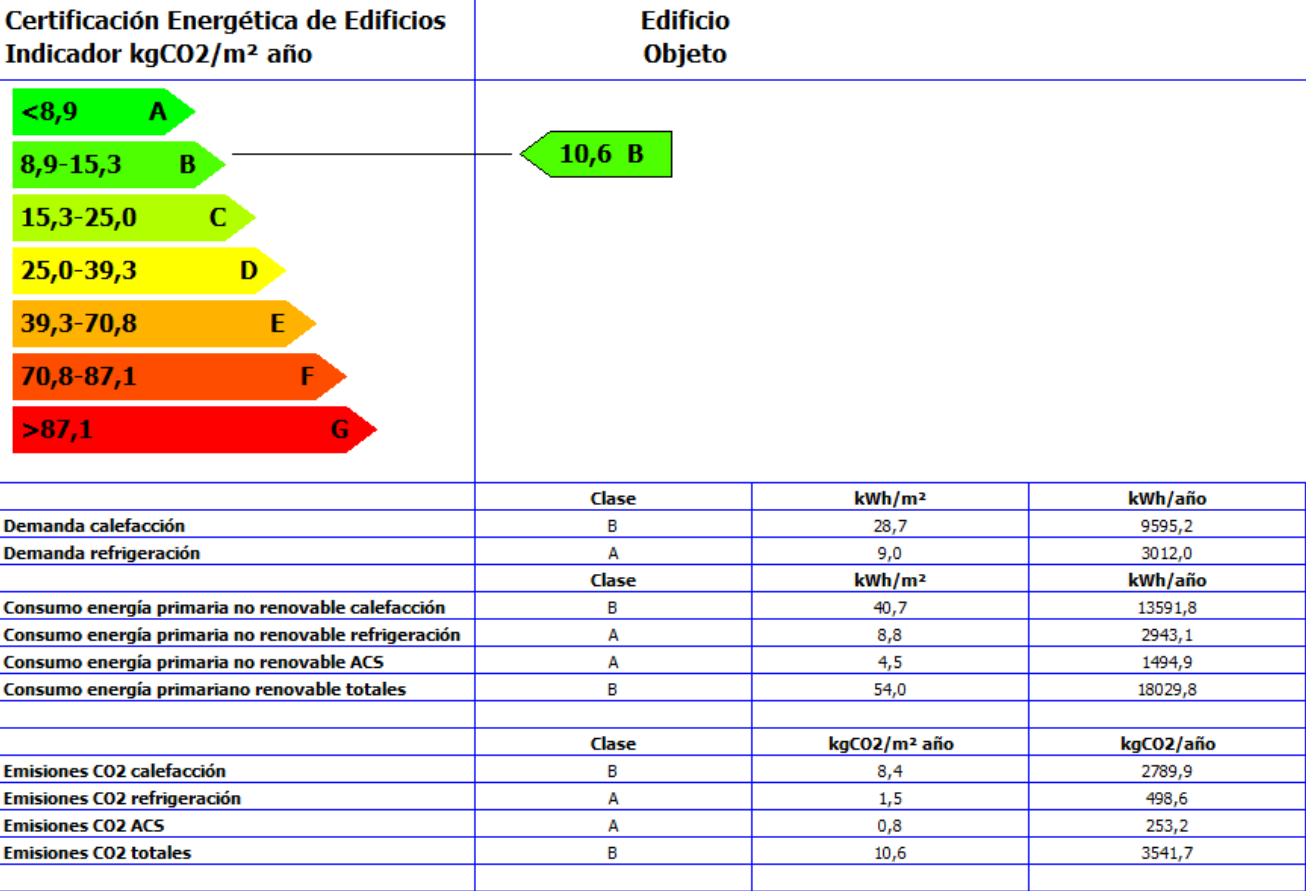


Figura 2.65 Certificación energética del modelo 16 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 17: modelo 3 + modelo 6; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm.

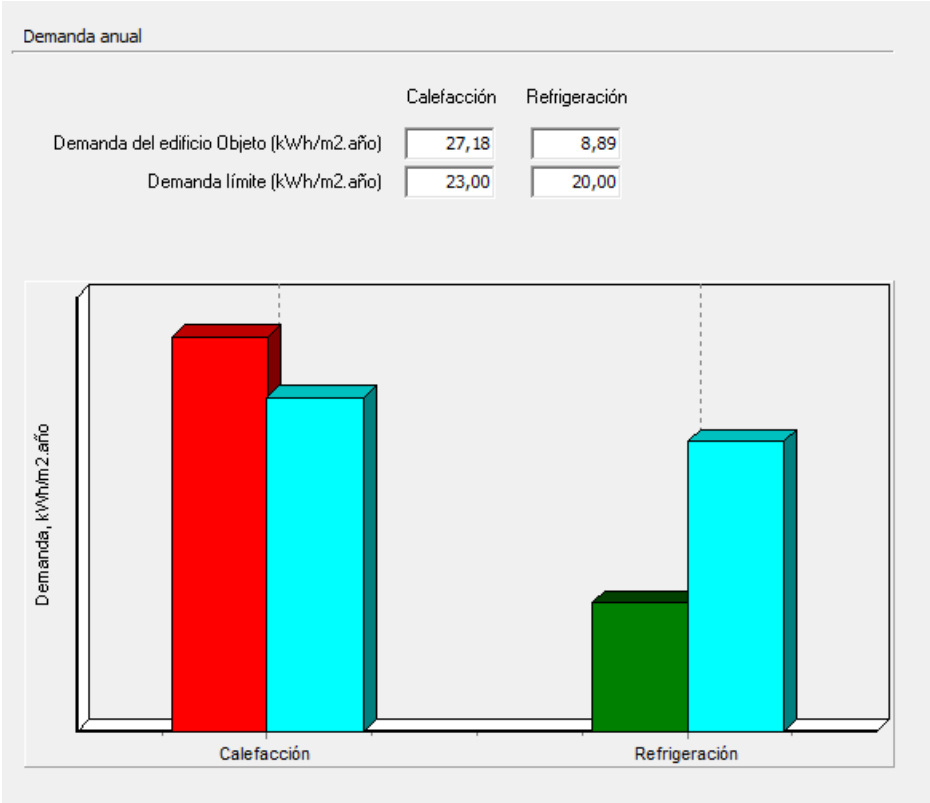


Figura 2.66 Demanda anual modelo 17 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.66 se observa como se reduce un 34,66% la demanda de calefacción y un 22,76% la demanda de refrigeración respecto al modelo real. Se obtienen unos valores muy parecidos al modelo 12, un poco mejores.

En la figura 2.67 se observa como reduce un 33,11% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año. Se sigue obteniendo una calificación energética B, sin embargo, cada vez nos encontramos más cerca de la letra A.

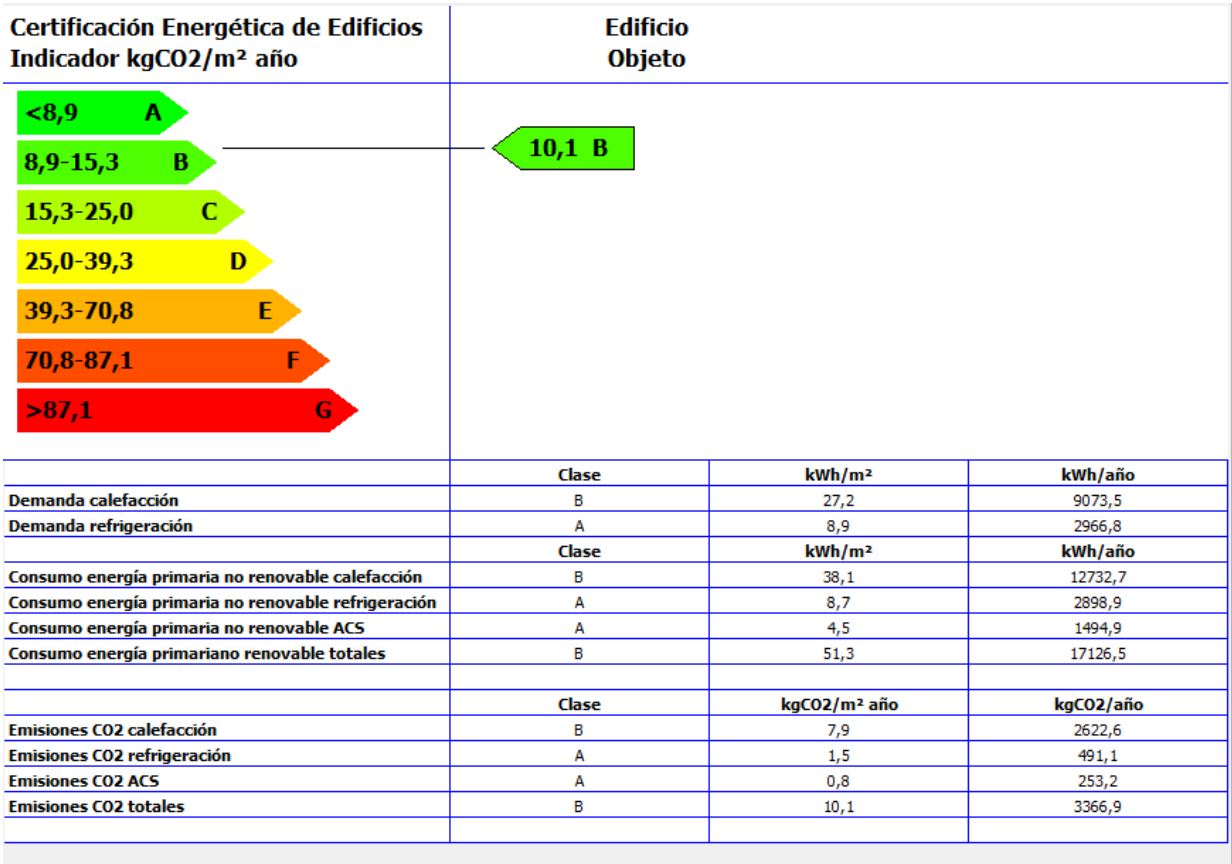
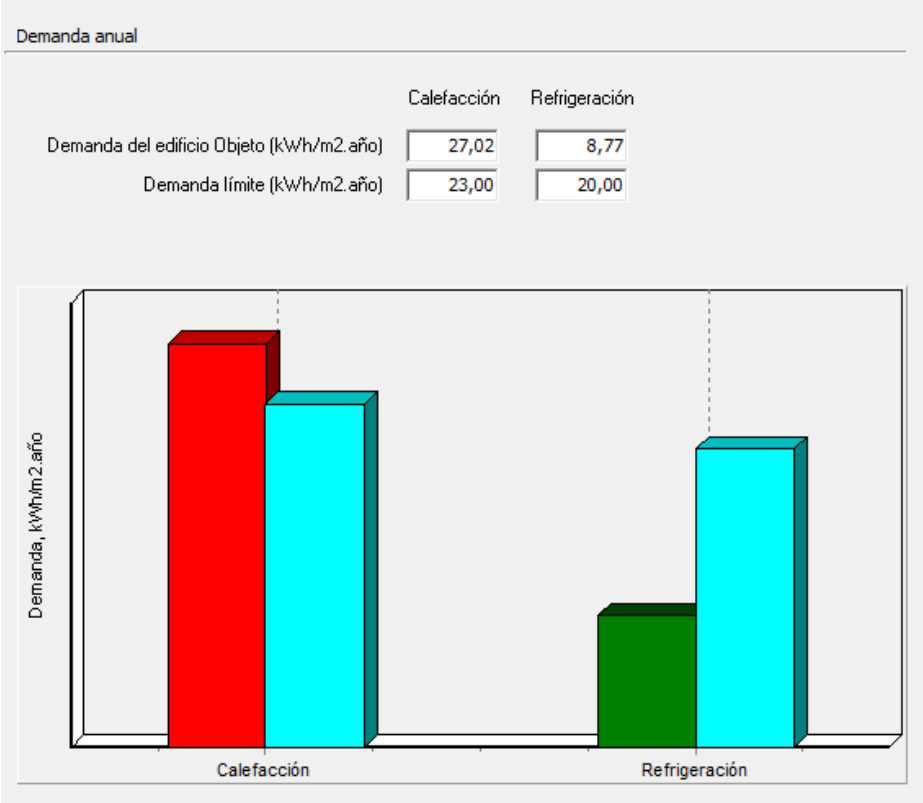


Figura 2.67 Certificación energética del modelo 17 (Fuente: Elaboración propia.)



SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA

- Modelo 18:** modelo 3 + modelo 7; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm.



Discusión resultados:

De esta combinación SATE+ AISLAMIENTO CUBIERTA, este es el modelo con el que se consigue una disminución mayor de la demanda, sin embargo no existe una diferencia muy significativa entre los modelo 18 y 12 que utilizan menos materialidad. En la figura 2.68 se observa como se reduce un 35,07% la demanda de calefacción y un 23,81% la demanda de refrigeración.

En la figura 2.69 se observa como reduce un 33,78% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año. Aunque sigue teniendo una calificación energética de B.

Figura 2.68 Demanda anual modelo 18 (Fuente: Elaboración propia.)

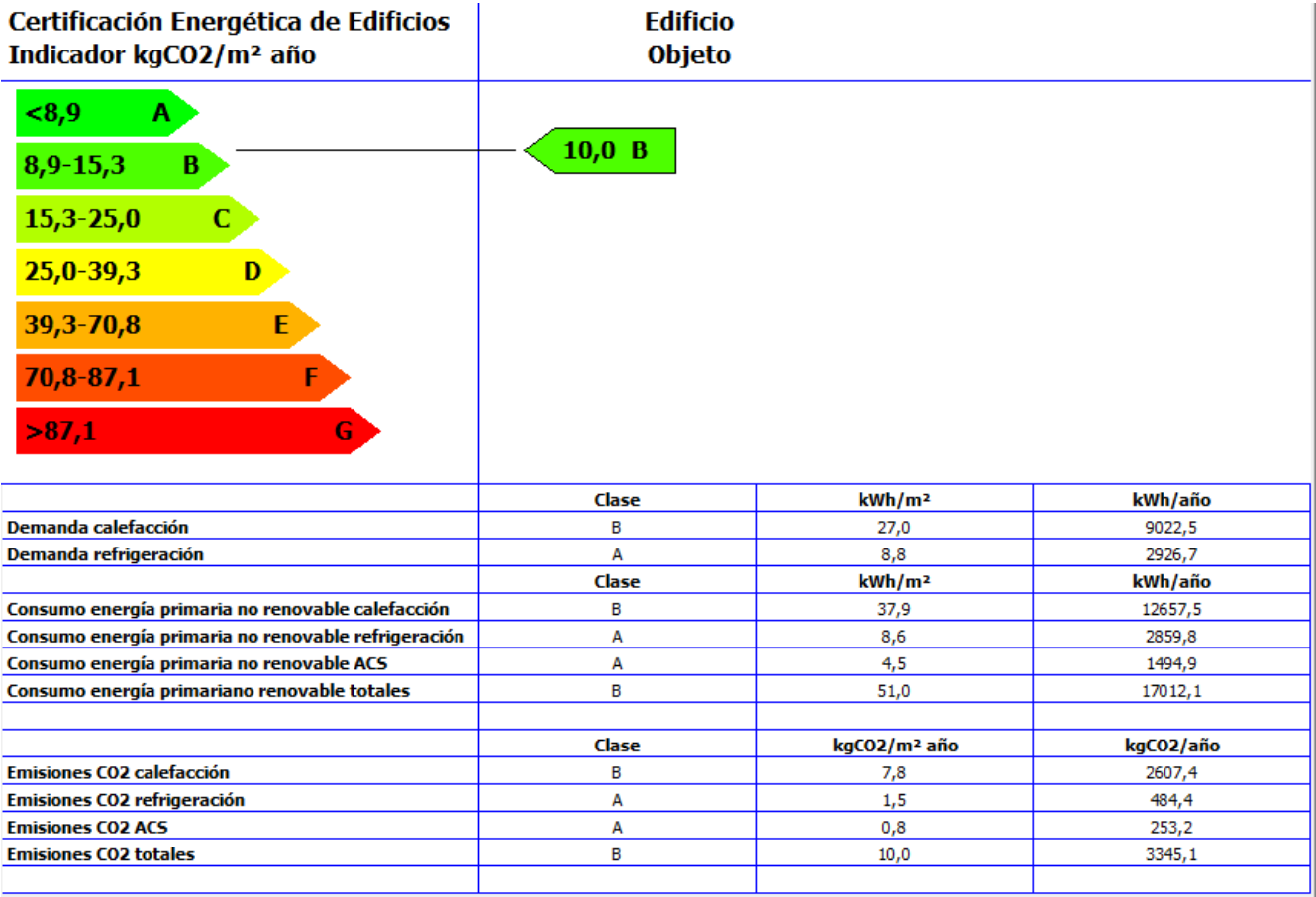
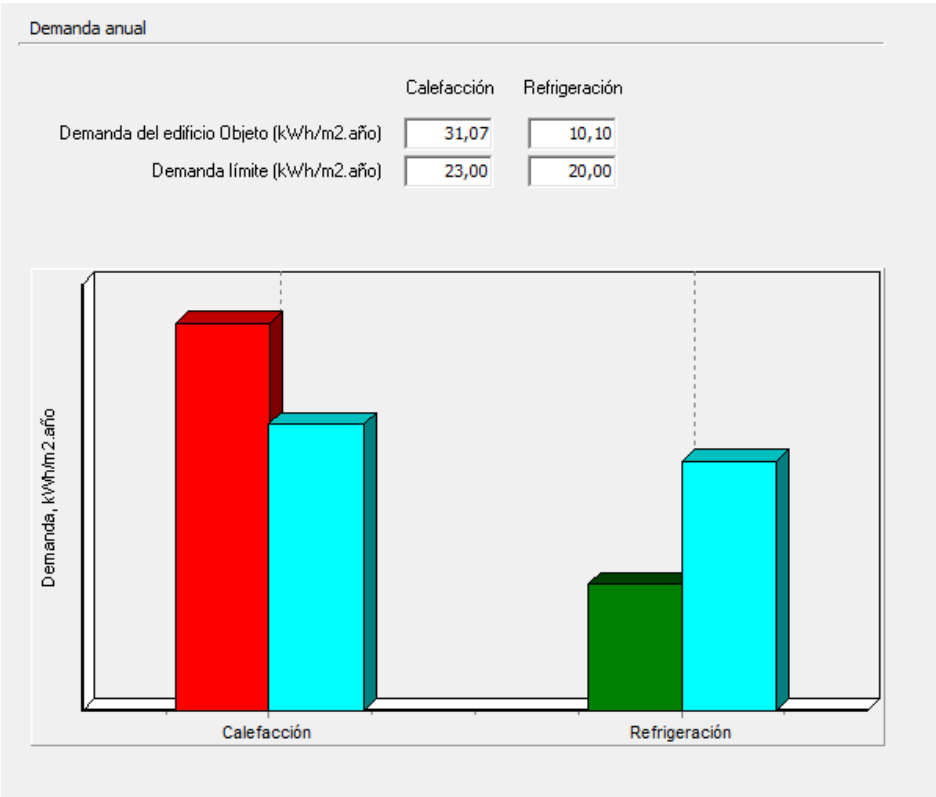


Figura 2.69 Certificación energética del modelo 18 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 19:** modelo 1 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

Con la combinación de SATE+ VENTANAS METÁLICAS con este espesor de aislamiento se obtienen unos resultados muy parecidos a los obtenidos con SATE+ AISLAMIENTO CUBIERTA (e:3cm) incluso algo mejores. En la figura 2.70 se ve como se reduce un 25,31% la demanda de calefacción y un 12,25% la de refrigeración. En la figura 2.71 se observa como reduce un 33,78% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año. En el caso de esta reducción se produce exactamente la misma que en modelo 10 (SATE+ AISLAMIENTO CUBIERTA (e:3cm)).

Figura 2.70 Demanda anual modelo 19 (Fuente: Elaboración propia.)

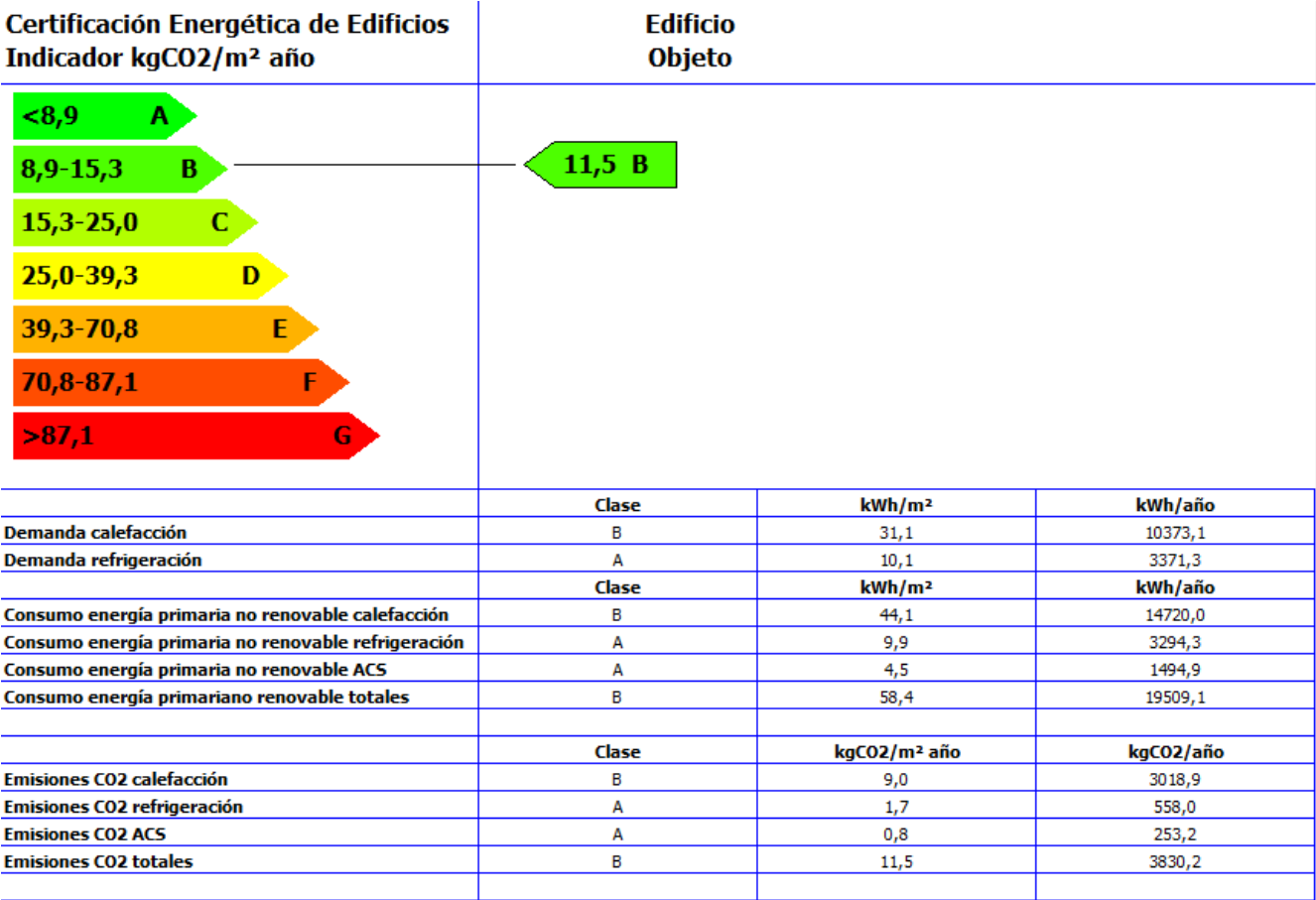
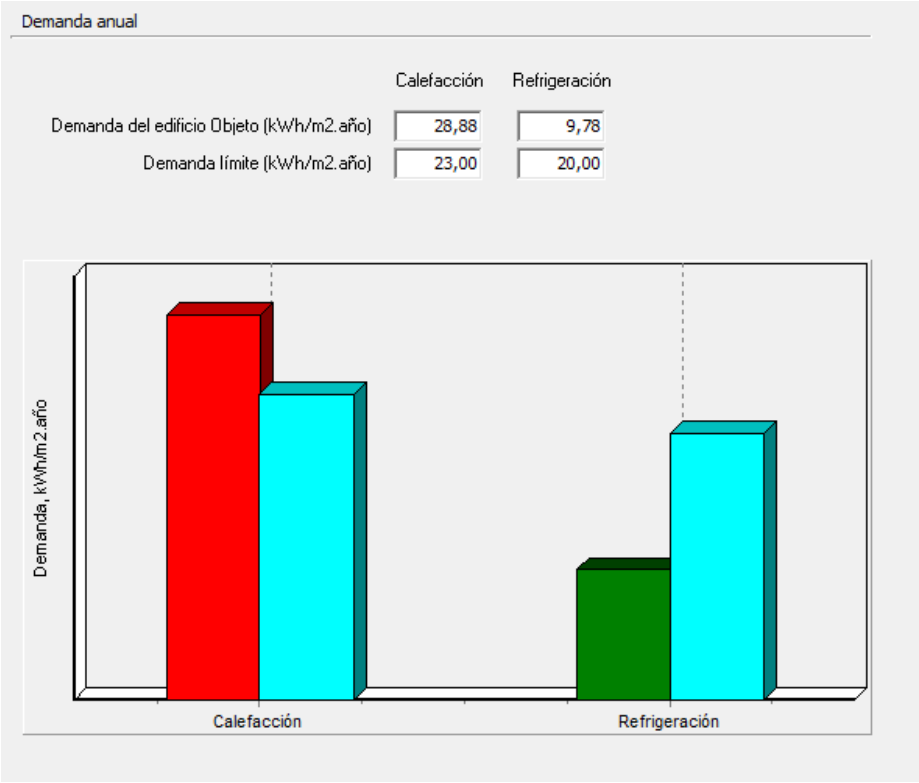


Figura 2.71 Certificación energética del modelo 19 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 20:** modelo 2 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En la figura 2.72 se ve como se reduce un 30,58% la demanda de calefacción y un 15,03% la de refrigeración. Al aumentar el espesor del aislamiento del SATE en este modelo se produce un disminución de en torno al 5% de la demanda de calefacción y en torno al 3% de la demanda de refrigeración respecto al modelo anterior (modelo 19).

En la figura 2.73 se observa como reduce un 29,13% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año.

Figura 2.72 Demanda anual modelo 20 (Fuente: Elaboración propia.)

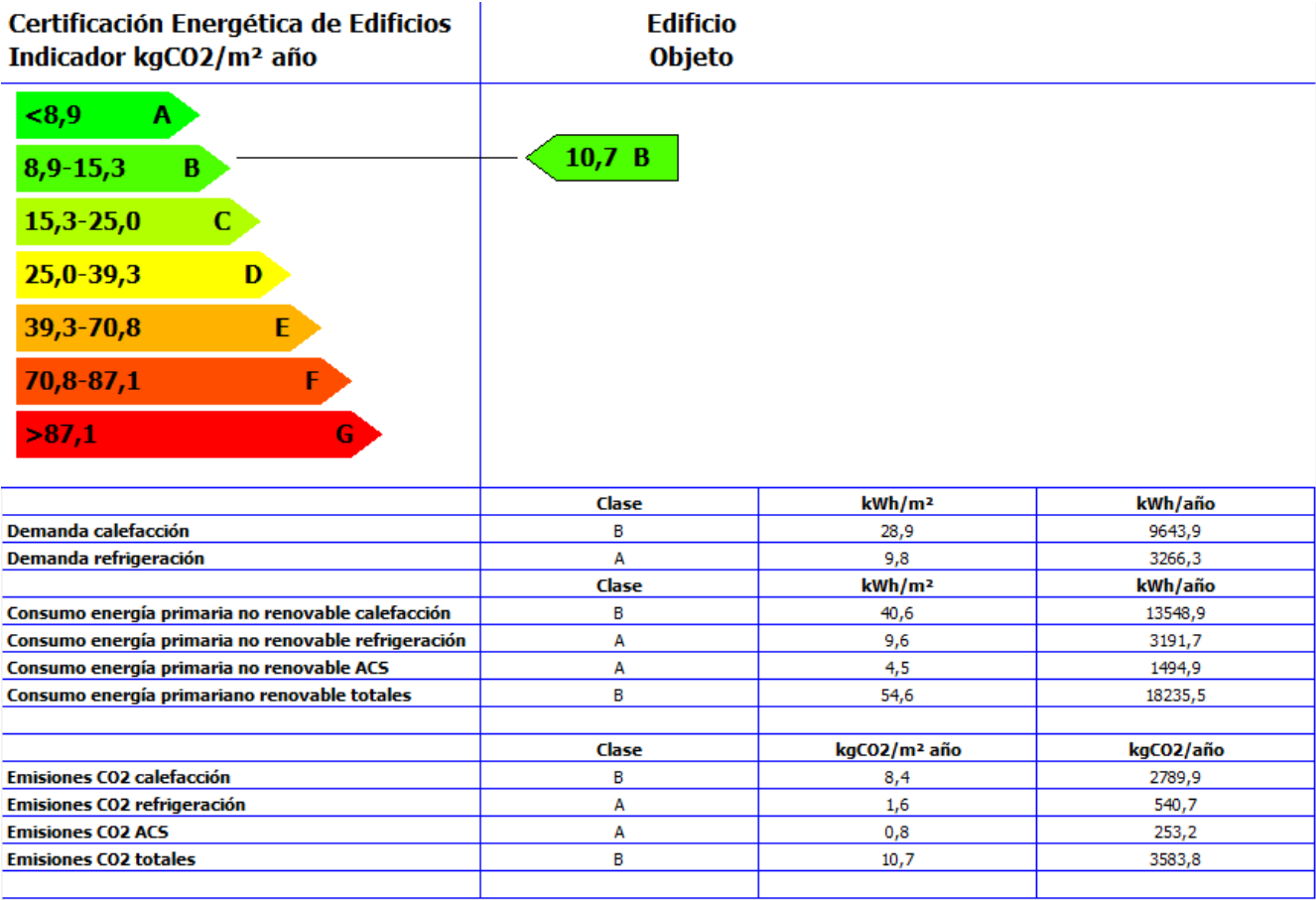


Figura 2.73 Certificación energética del modelo 20 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 21: modelo 3 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

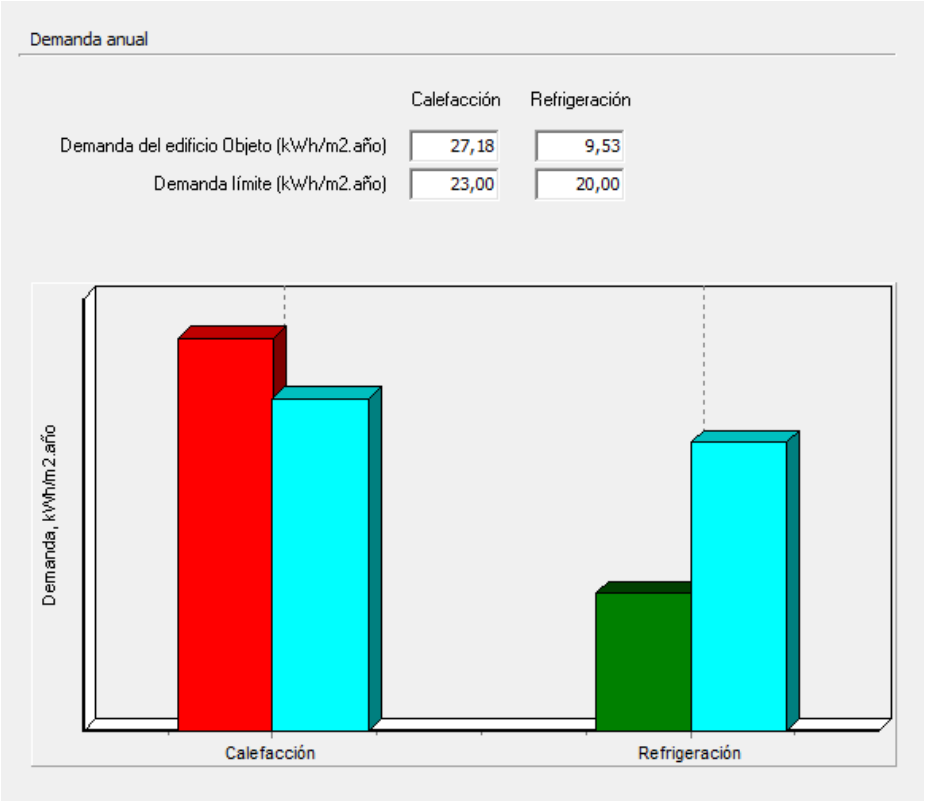


Figura 2.74 Demanda anual modelo 21 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.74 se ve como se reduce un 34,66% la demanda de calefacción y un 17,20% la de refrigeración respecto al modelo real. Podemos destacar que en este caso al aumentar el aislamiento del SATE si que se consigue una demanda anual menor, pero respecto al modelo anterior solo varía en torno al 4% de la demanda de calefacción y en torno al 2% de la demanda de refrigeración.

En la figura 2.75 se observa como reduce un 33,11% los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año respecto al modelo real, obteniendo una calificación energética B.

Certificación Energética de Edificios	Edificio Objeto		
Indicador kgCO2/m <sup>2</sup> año			
<8,9 A	10,1 B		
8,9-15,3 B			
15,3-25,0 C			
25,0-39,3 D			
39,3-70,8 E			
70,8-87,1 F			
>87,1 G			
	Clase	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Demanda calefacción	B	27,2	9074,9
Demanda refrigeración	A	9,5	3181,4
	Clase	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	37,8	12615,4
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	9,3	3108,7
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primariano renovable totales	B	51,6	17219,0
	Clase	kgCO2/m <sup>2</sup> año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	B	7,8	2607,2
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,6	526,6
Emisiones CO2 ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO2 totales	B	10,2	3387,1

Figura 2.75 Certificación energética del modelo 21 (Fuente: Elaboración propia.)

AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 22: modelo 5+ modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

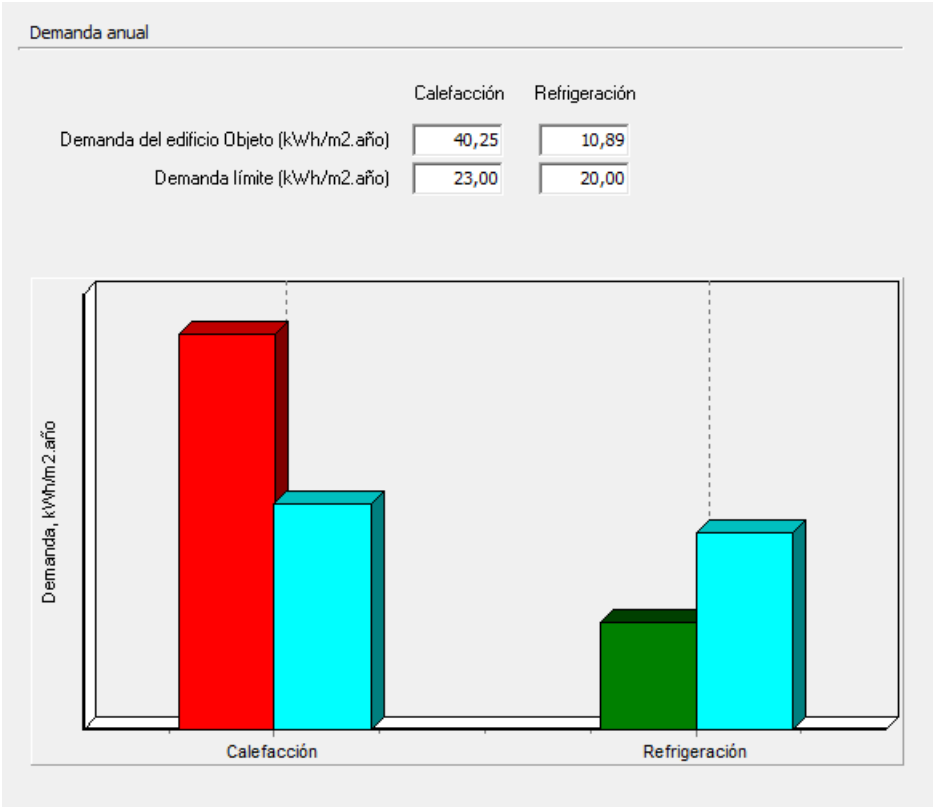


Figura 2.76 Demanda anual modelo 22 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.76 se ve como se reduce un 3,25% la demanda de calefacción y un 5,39% la de refrigeración respecto al modelo real. Por lo mejora obtenida con la combinación de esto sistemas no es muy buena. Con la combinación del SATE+ VENTANAS METÁLICAS se obtienen mejores resultados siendo una actuación parecida (casi un 20% mejor la demanda de calefacción y un 9% mejor la demanda de refrigeración respecto el modelo 19).

En la figura 2.77 se observa como solo se reduce solo un 3,97 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real.

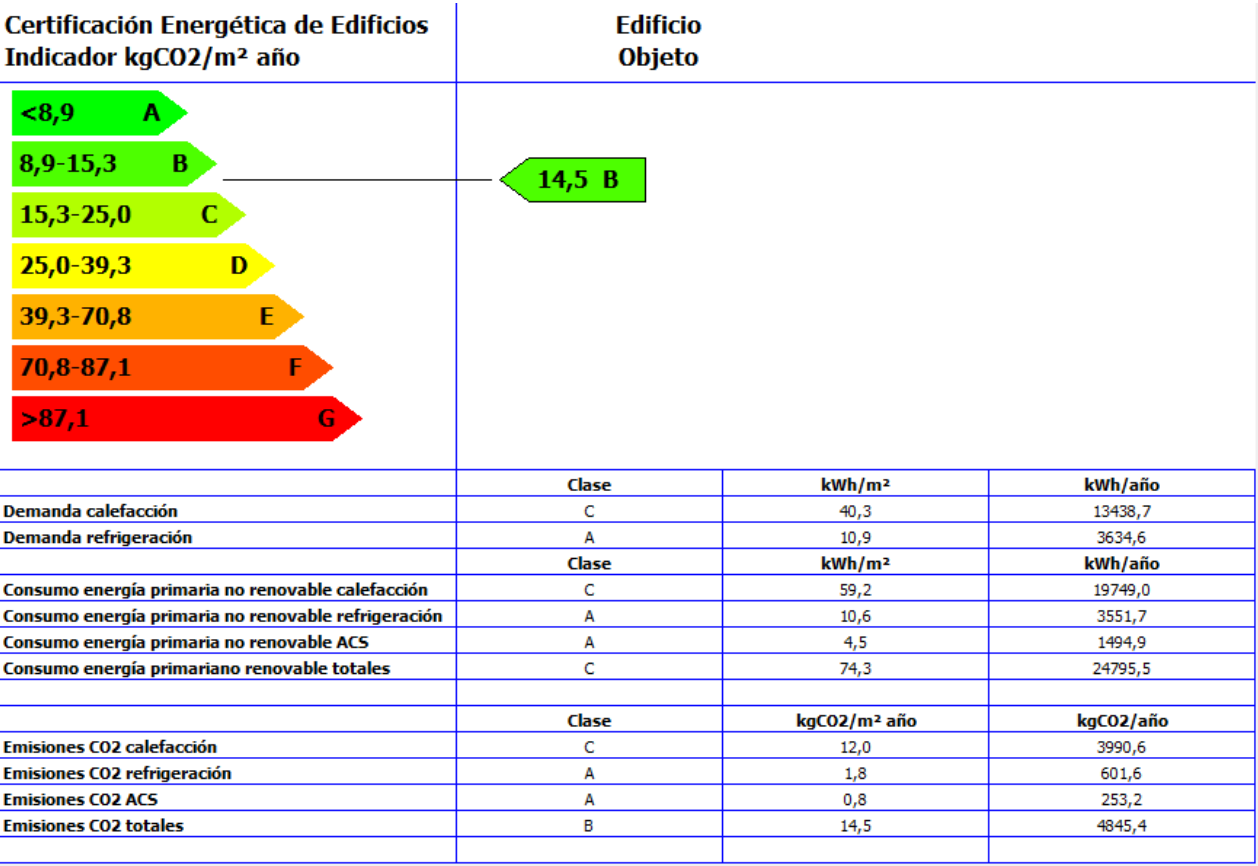
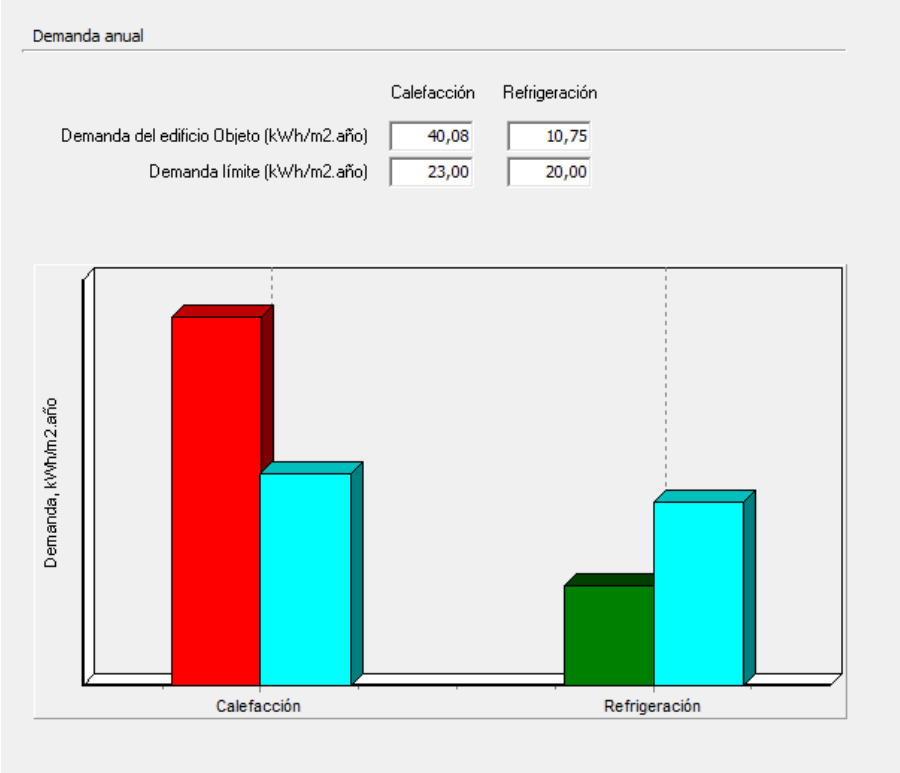


Figura 2.77 Certificación energética del modelo 22 (Fuente: Elaboración propia.)

AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 23: modelo 6 + modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En la figura 2.78 se ve como se reduce un 3,65% la demanda de calefacción y un 6,60% la de refrigeración respecto al modelo real Por lo que con esta combinación no se mejora de manera muy significativa los resultados obtenidos con el modelo real, al igual que ocurre con la calificación energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> En la figura 2.79 se observa como solo se reduce solo un 3,97 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real, la misma reducción que el modelo anterior.

Figura 2.78 Demanda anual modelo 23 (Fuente: Elaboración propia.)

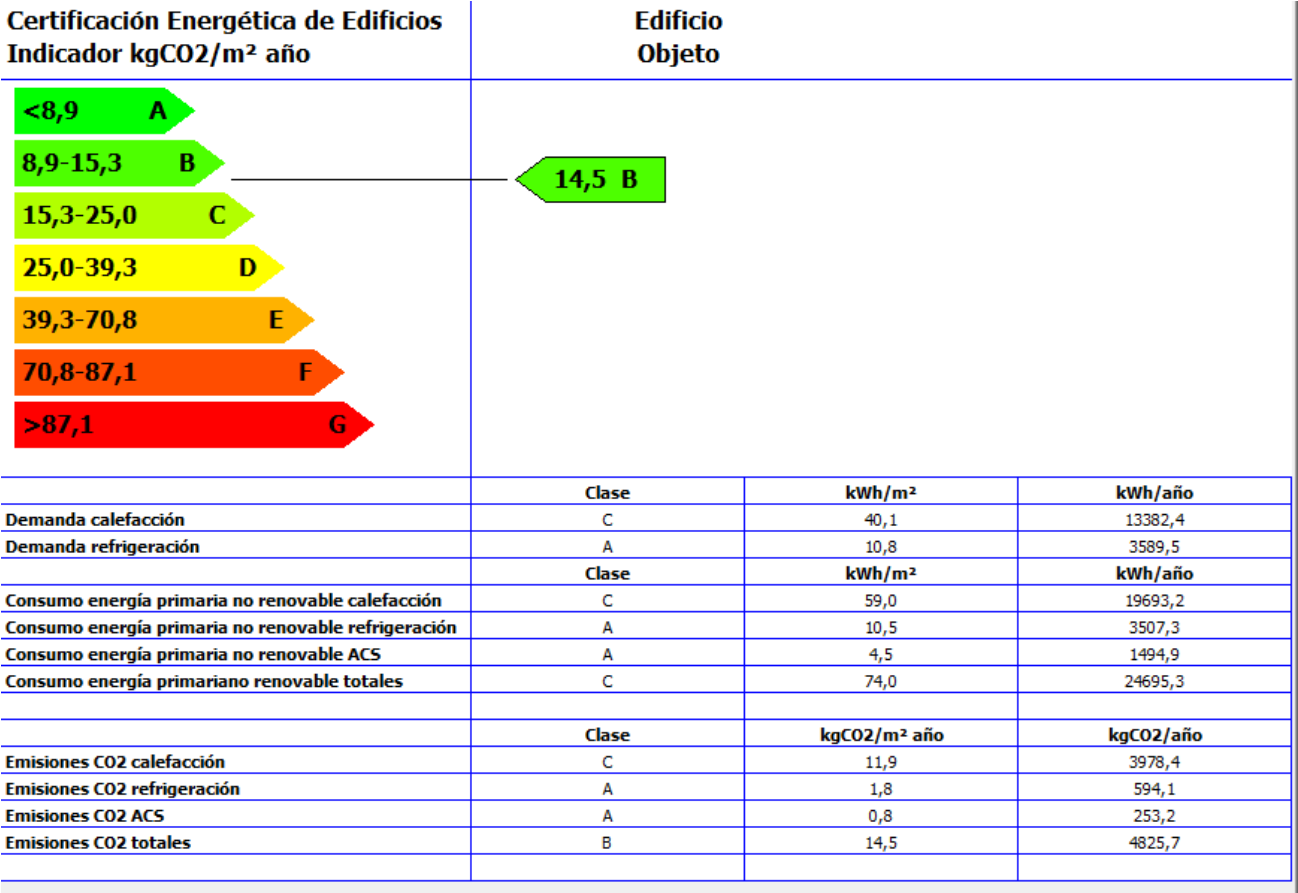
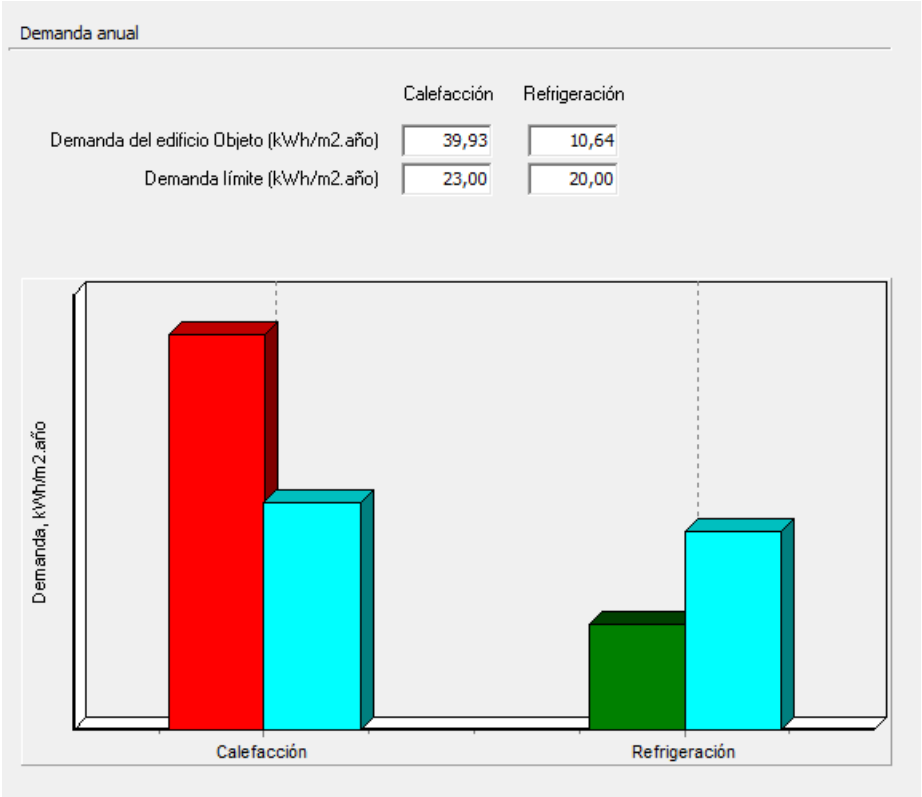


Figura 2.79 Certificación energética del modelo 23 (Fuente: Elaboración propia.)

AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 24: modelo 7 + modelo 8: aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En la figura 2.80 se ve como se produce una reducción muy muy pequeña respecto al modelo anterior de las demandas a pesar de estar implementando el aislamiento en la cubierta desde el interior de 5 a 8 cm de espesor. Ocurre lo mismo con los resultados que se muestra en la figura 2.81. Por lo que podemos concluir que la combinación únicamente de estos dos sistemas no es una buena solución constructiva para esta vivienda.

Figura 2.80 Demanda anual modelo 24 (Fuente: Elaboración propia.)

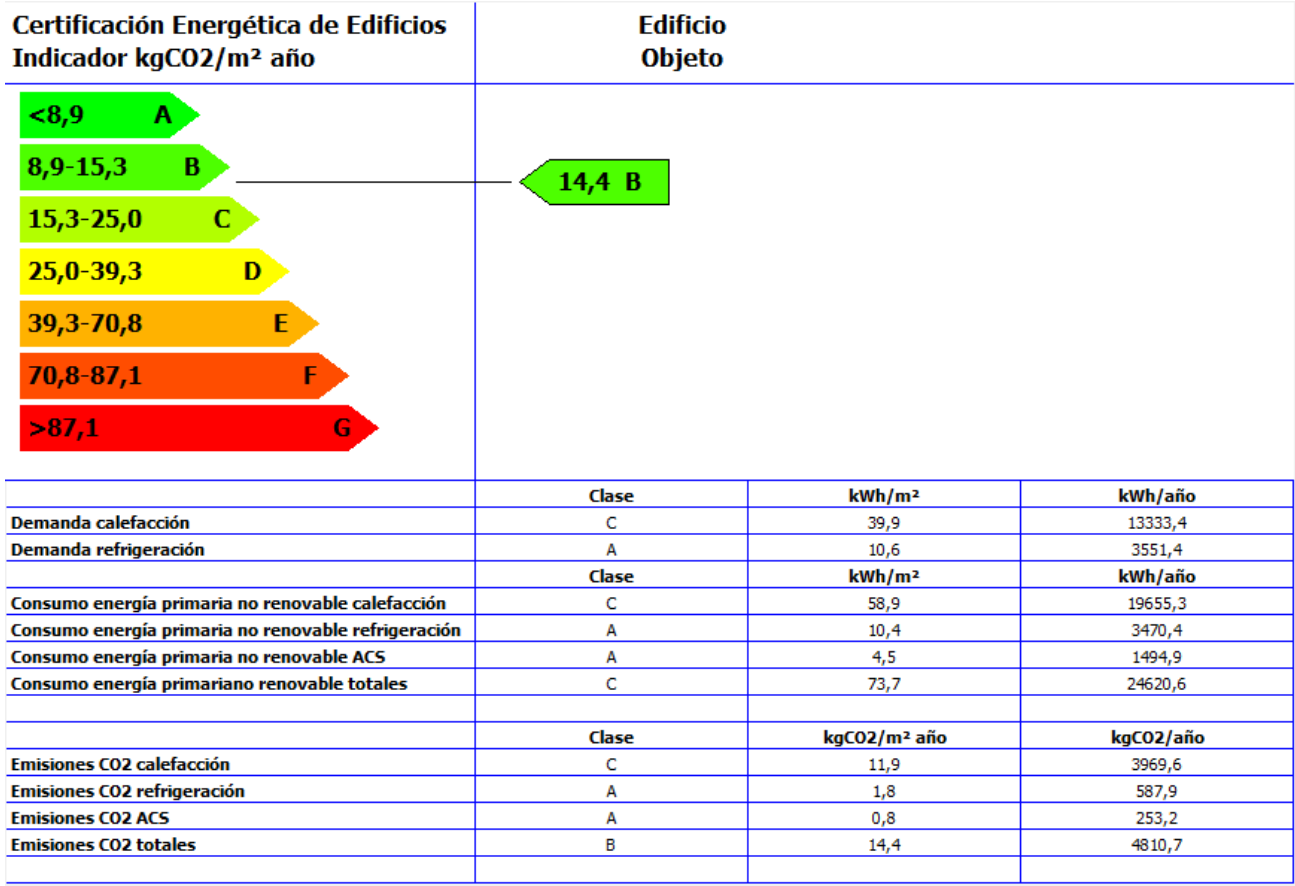


Figura 2.81 Certificación energética del modelo 24 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 25:** modelo 1 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

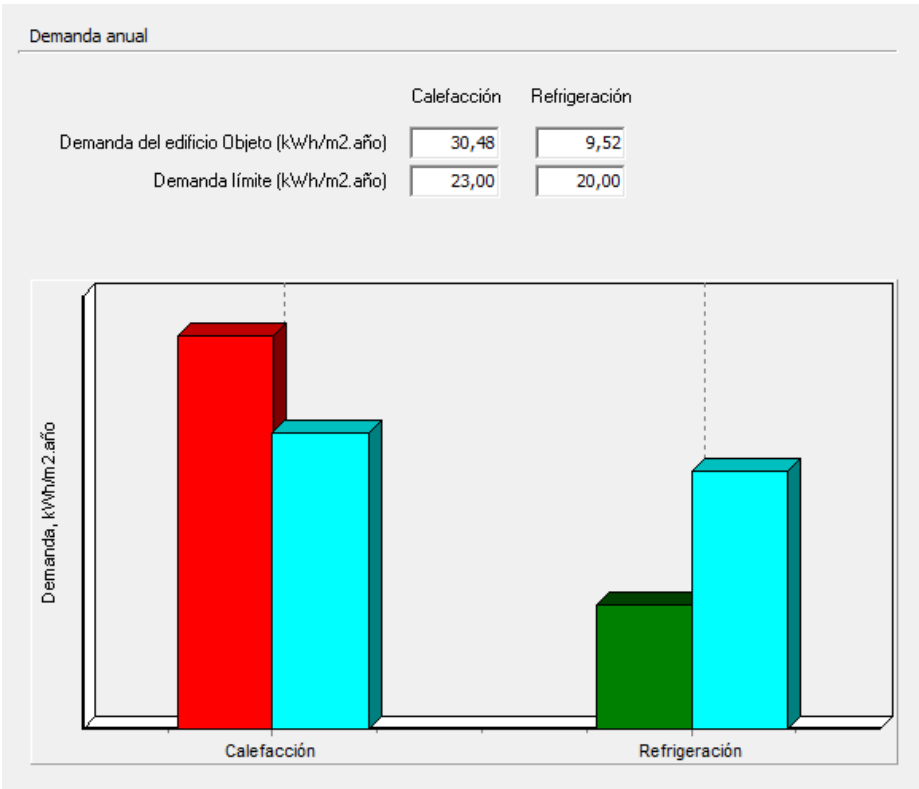


Figura 2.82 Demanda anual modelo 25 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En este modelo se hace la combinación de tres hipótesis simple. En la figura 2.82 se ve como se reduce un 26,73% la demanda de calefacción y un 17,13% la de refrigeración respecto al modelo real. Por lo mejora obtenida con la combinación de esto sistemas es buena. No es la mejor obtenido hasta ahora, debido a los pequeños espesores de este modelo en los aislamientos, pero con el incremento de estos se obtendrán mejores resultados.

En la figura 2.77 se observa como solo se reduce un 25,83 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real.

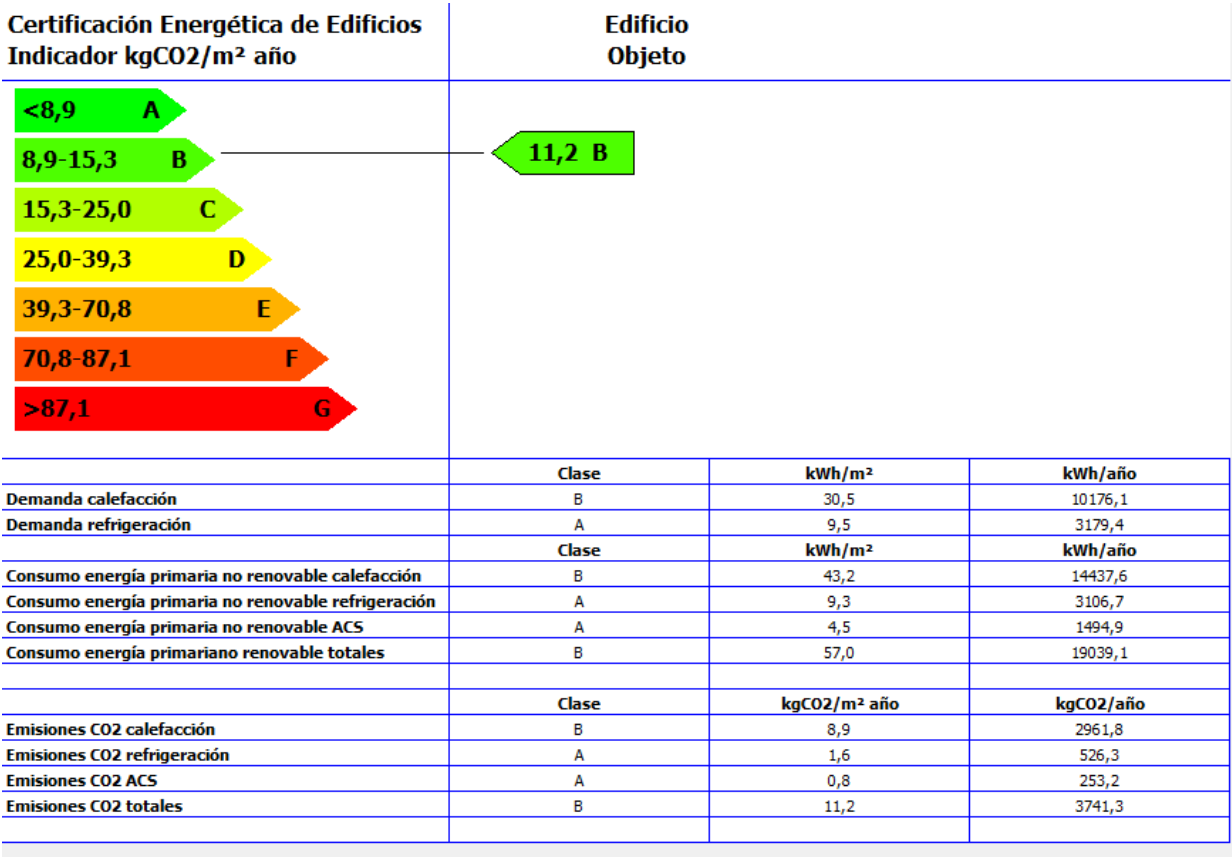


Figura 2.83 Certificación energética del modelo 25 (Fuente: Elaboración propia.)



SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 26: modelo 2 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

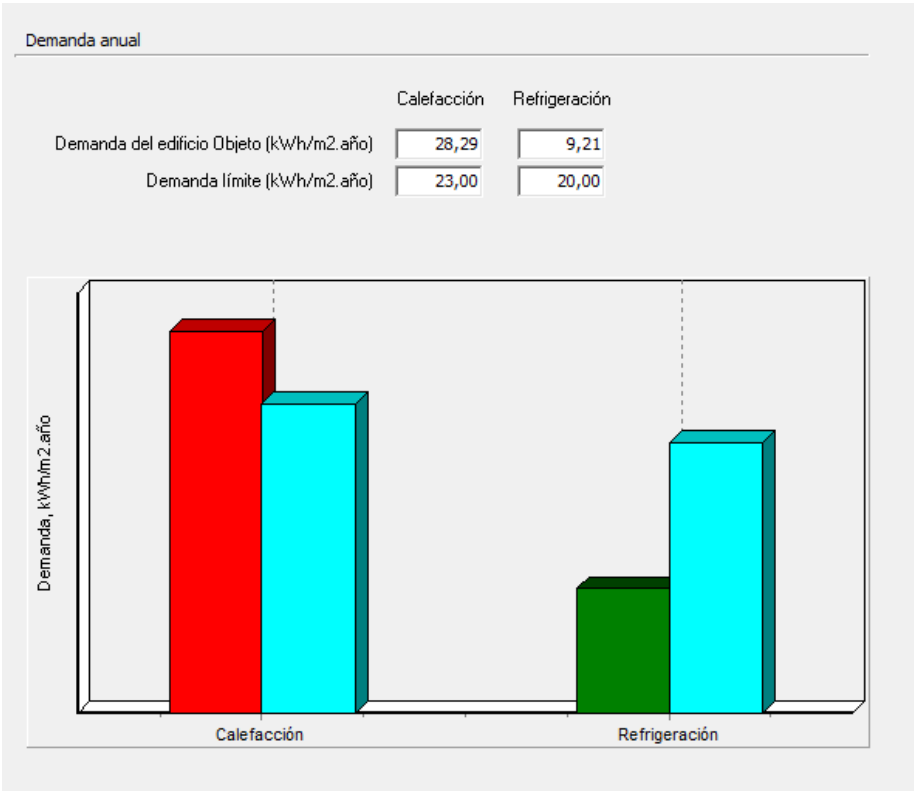


Figura 2.84 Demanda anual modelo 26 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.84 se ve como se reduce un 32,00% la demanda de calefacción y un 19,98% la de refrigeración respecto al modelo real. Podemos observar como va disminuyendo de manera significativa la demanda respecto al modelo anterior

En la figura 2.77 se observa como se reduce un 30,46 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real. Por lo que respecto al modelo anterior se disminuye casi un 5% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

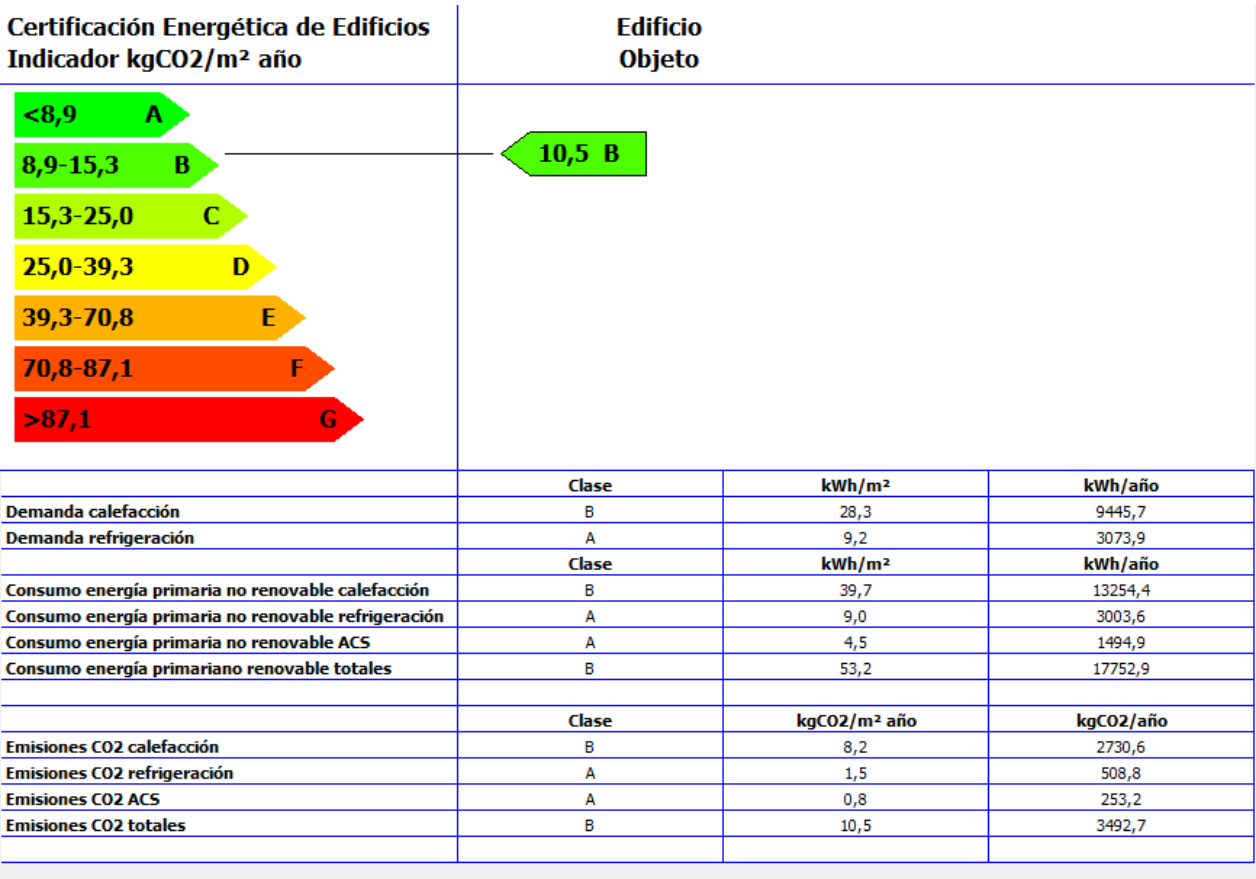
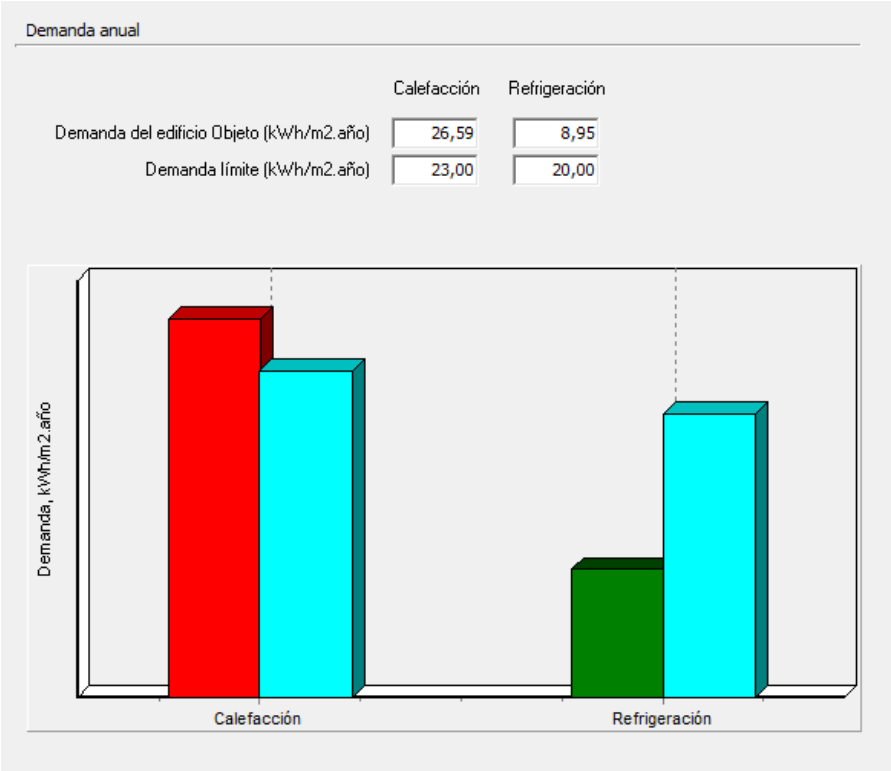


Figura 2.85 Certificación energética del modelo 26 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 27:** modelo 3 + modelo 5 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En este modelo se observa como se obtiene la menor demanda anual conseguida hasta ahora. En la figura 2.86 se ve como se reduce un 36,08% la demanda de calefacción y un 19,37% la de refrigeración respecto al modelo real. Se disminuye en torno a un 4% la demanda de calefacción y menos de un 1% la demanda de refrigeración respecto al modelo anterior.

En la figura 2.87 se observa como se reduce un 34,44 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real. Cada vez nos encontramos más cerca de conseguir la calificación energética A.

Figura 2.86 Demanda anual modelo 27 (Fuente: Elaboración propia.)

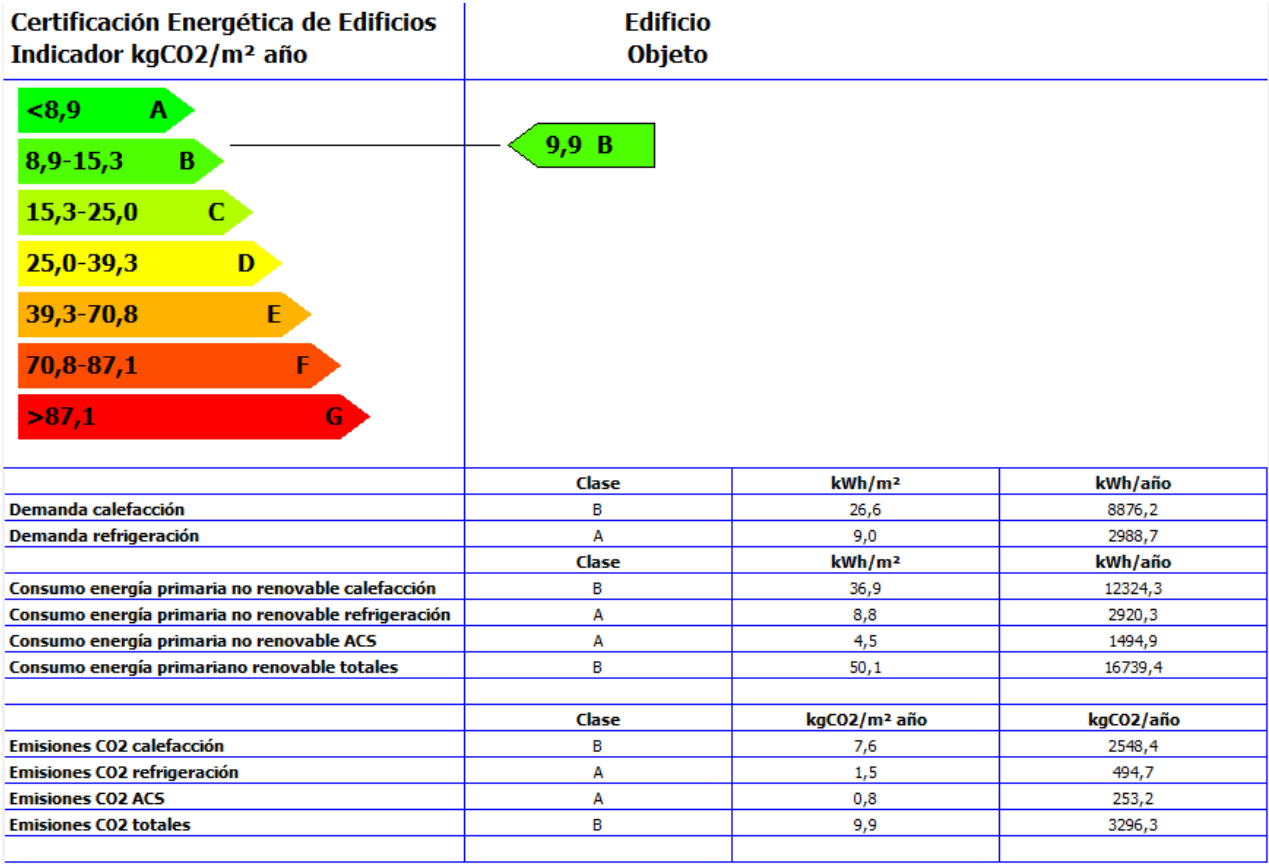
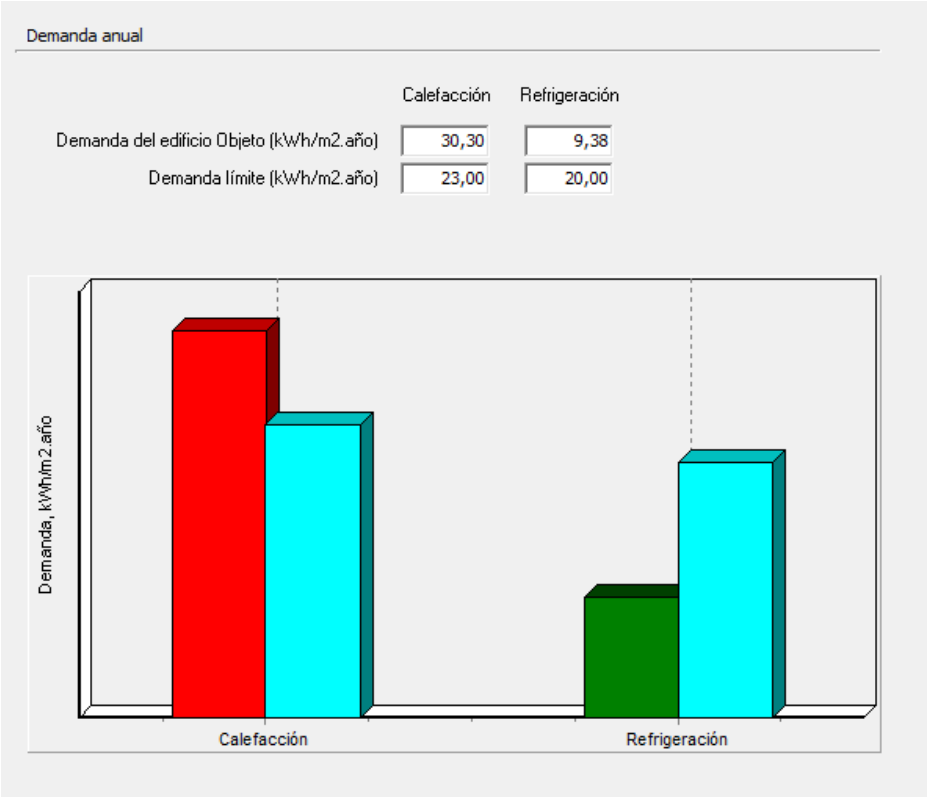


Figura 2.87 Certificación energética del modelo 27 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 28:** modelo 1 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En este modelo se observa como unos resultados parecidos al modelo 25. En la figura 2.88 se ve como se reduce un 27,16% la demanda de calefacción y un 18,51% la de refrigeración respecto al modelo real.

En la figura 2.89 se observa como se reduce un 26,49 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real.

Figura 2.88 Demanda anual modelo 28 (Fuente: Elaboración propia.)

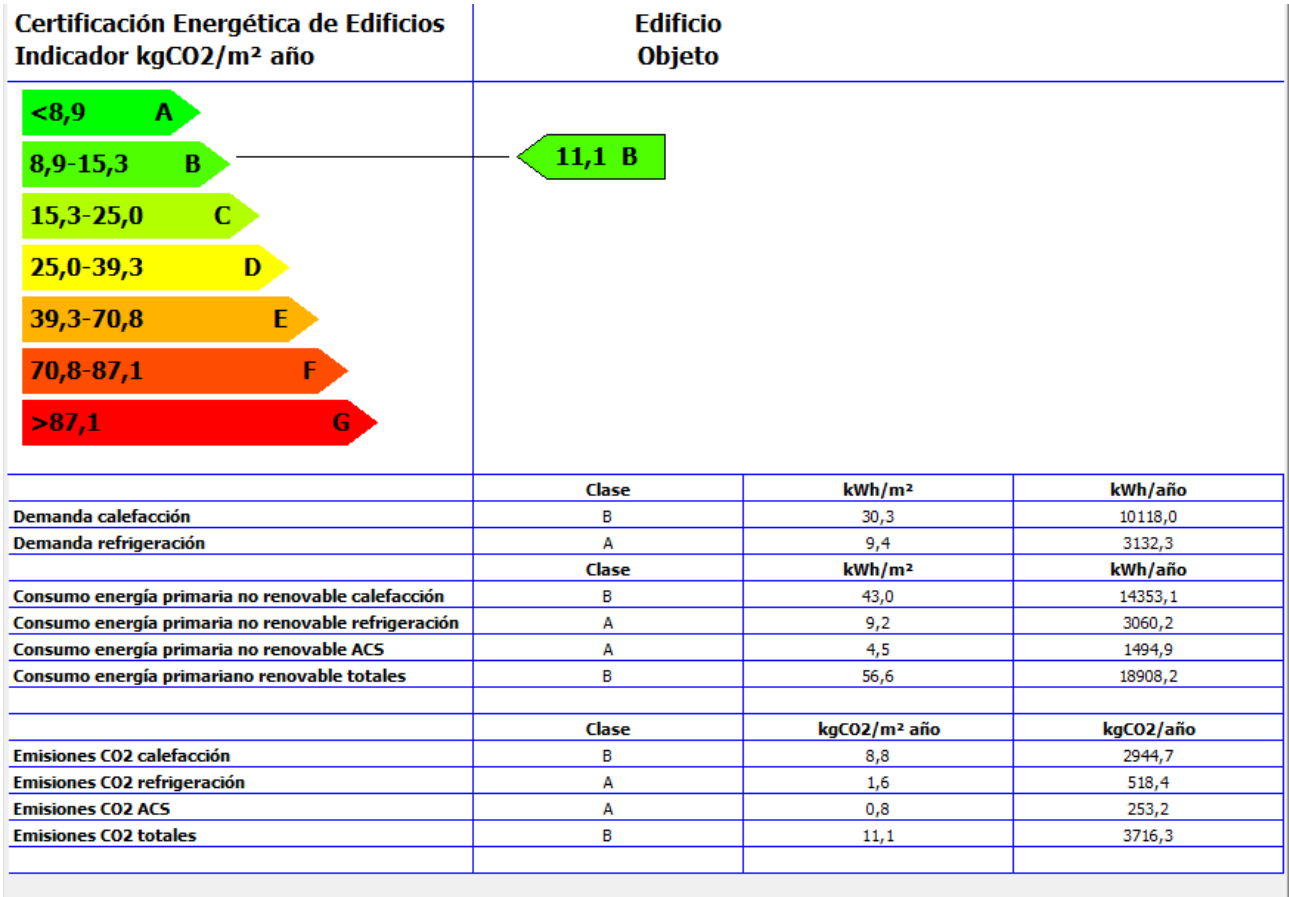
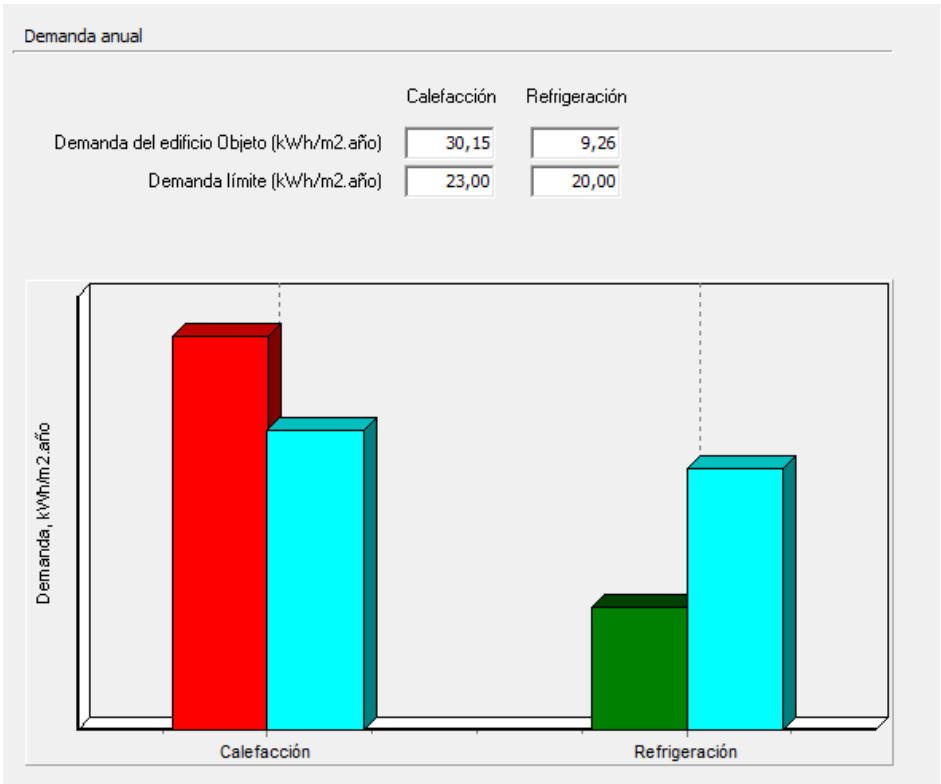


Figura 2.89 Certificación energética del modelo 28 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 29: modelo 1 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

Los resultados obtenidos en este modelo son casi exactamente igual que los obtenidos en el modelo anterior, esto quiere decir, que subir el espesor en el aislamiento de la cubierta desde el interior de 5 a 8 cm no es eficiente.

En la figura 2.91 se observa como se reduce un 26,49 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real, exactamente igual al modelo anterior.

Figura 2.90 Demanda anual modelo 29 (Fuente: Elaboración propia.)

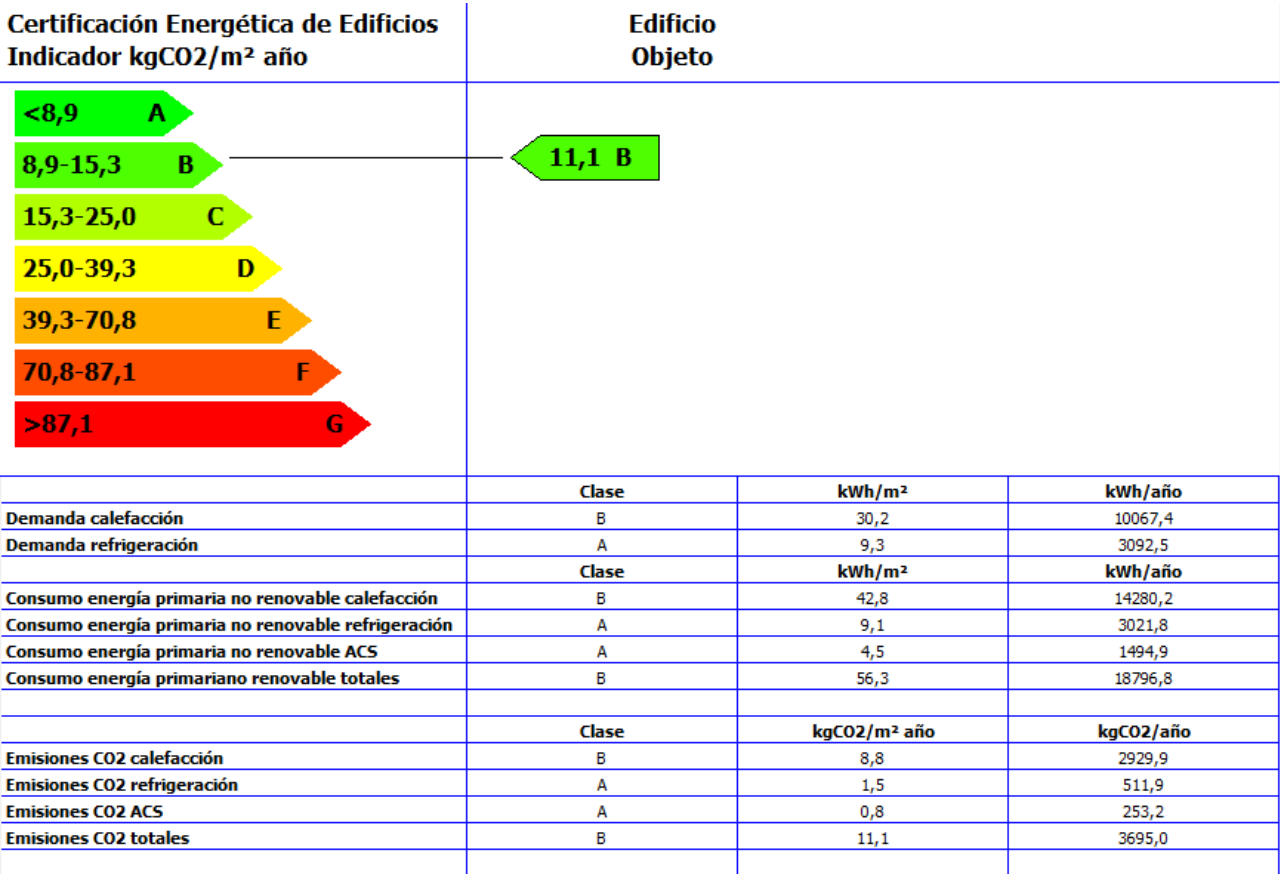
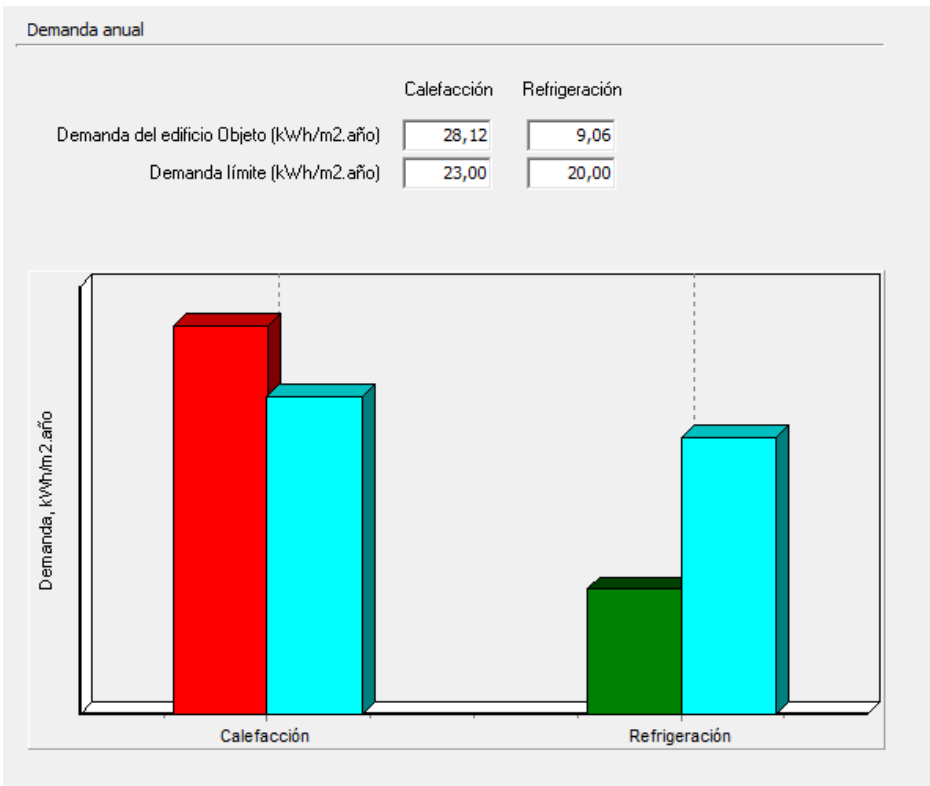


Figura 2.91 Certificación energética del modelo 29 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 30: modelo 2 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En la figura 2.92 se muestra como se ha reducido un 32,40% la demanda de calefacción encontrándose cerca del objetivo a alcanzar, de obtener una demanda por debajo de los 23,00 kW.h/m<sup>2</sup> año. Se ha reducido también un 21,29 % la demanda de refrigeración respecto al modelo actual.

En la figura 2.93 se observa como se reduce un 31,13 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real, una reducción mayor que el modelo anterior.

Figura 2.92 Demanda anual modelo 30 (Fuente: Elaboración propia.)

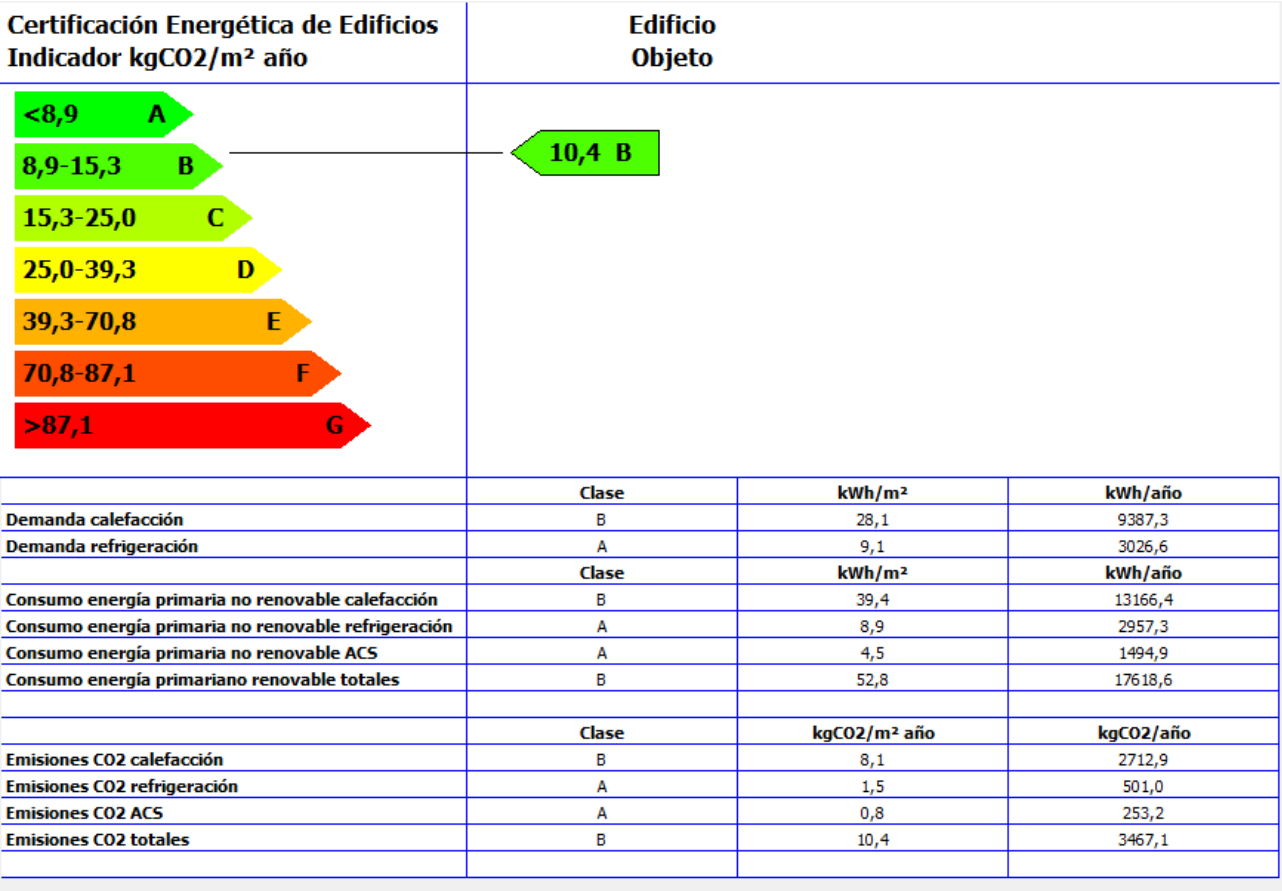
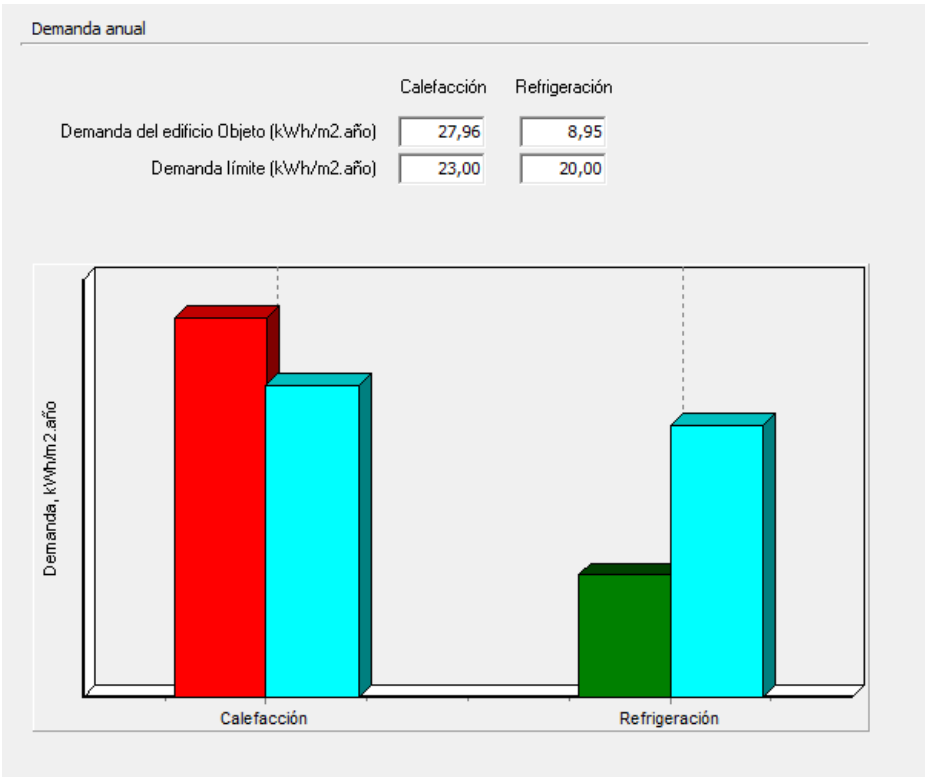


Figura 2.93 Certificación energética del modelo 30 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 31: modelo 2 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En este modelo se sigue reduciendo la demanda anual del edificio, En la figura 2.94 se muestra como se ha reducido un 32,79% en la demanda de calefacción y un 22,24 % la demanda de refrigeración respecto al modelo actual.

Respecto al modelo anterior no existen muchas variaciones, ya que la demanda solo se ha conseguido reducir menos de 1% en calefacción y en torno al 1% en refrigeración, por lo que podemos decir, que utilizar esta solución y la anterior sería prácticamente igual, sin embargo en la anterior se usa menos material.

Figura 2.94 Demanda anual modelo 31 (Fuente: Elaboración propia.)

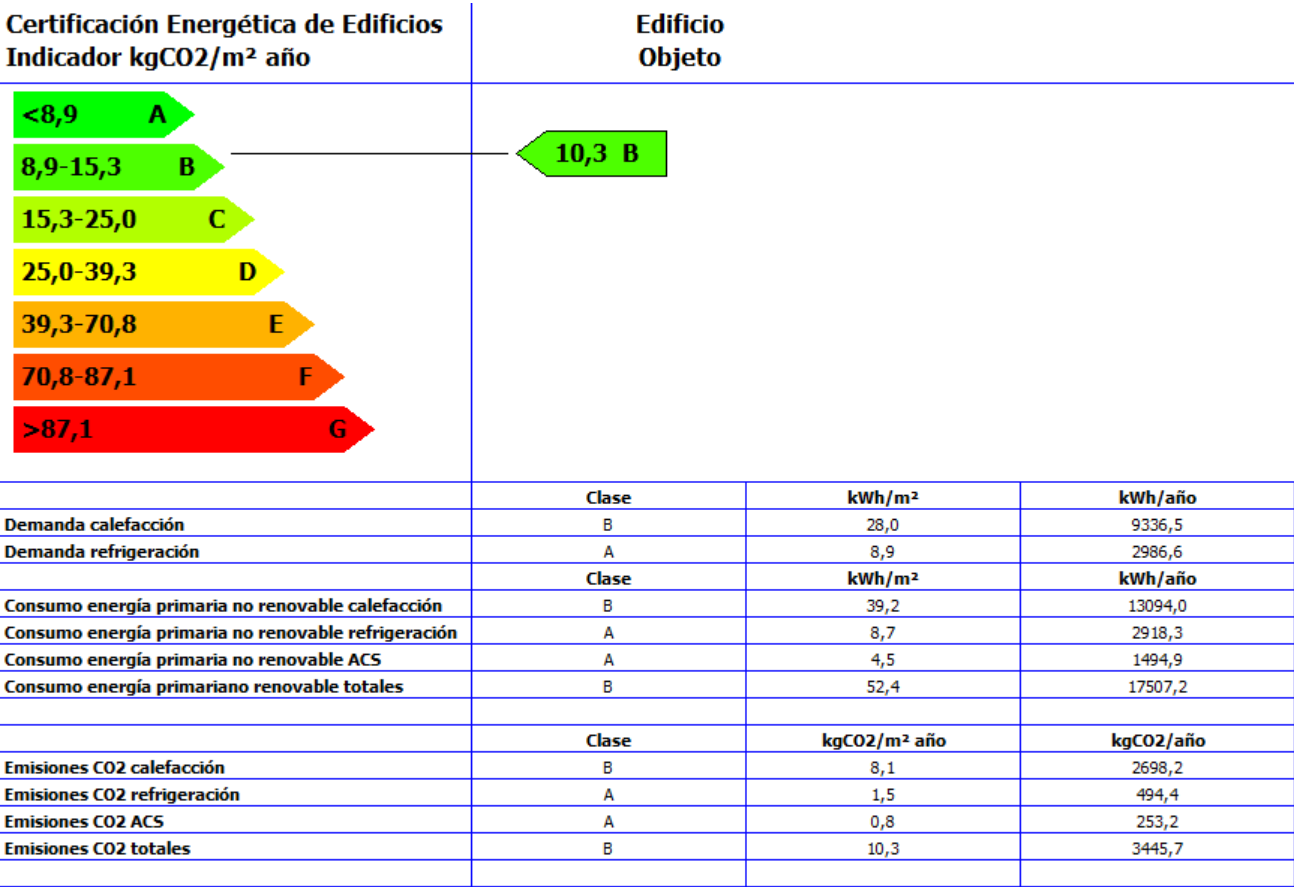
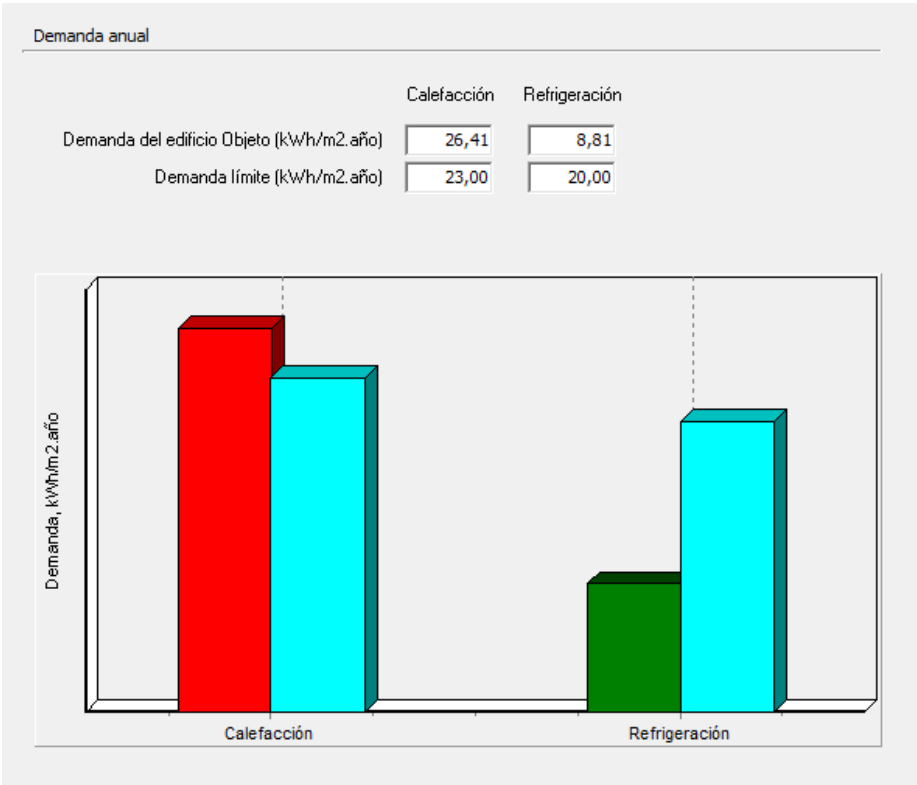


Figura 2.95Certificación energética del modelo 31 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 32:** modelo 3 + modelo 6 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).



Discusión resultados:

En la figura 2.96 se muestra como se ha reducido un 36,51% en la demanda de calefacción y un 23,46 % la demanda de refrigeración respecto al modelo actual.

En la figura 2.97 se observa como se reduce un 35,10 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real.

Se observa por tanto que es uno de los modelos más eficientes hasta ahora realizados y nos encontramos muy cerca tanto de cumplir la demanda de calefacción como de obtener la calificación energética de la letra A.

Figura 2.96 Demanda anual modelo 32 (Fuente: Elaboración propia.)

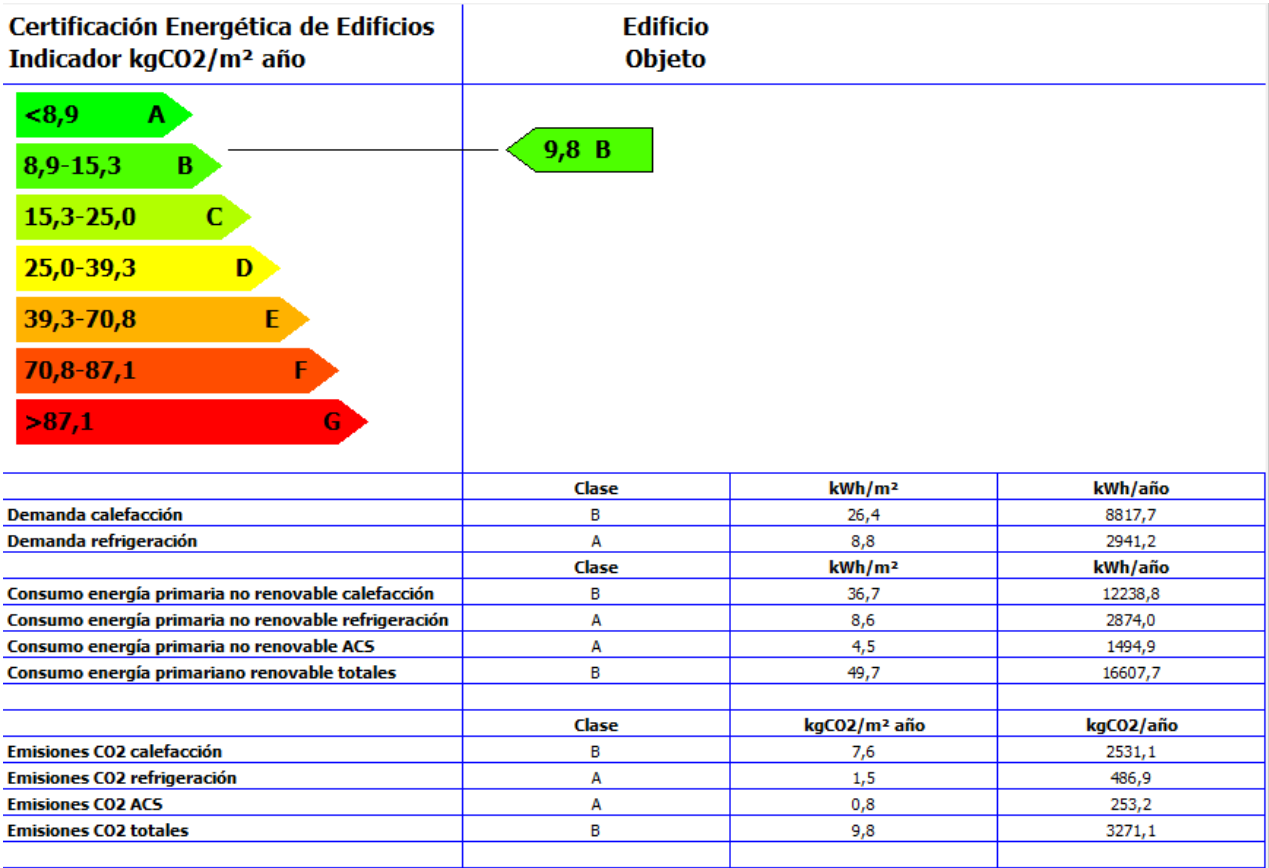


Figura 2.97 Certificación energética del modelo 32 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS

- Modelo 33:** modelo 3 + modelo 7 + modelo 8; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm).

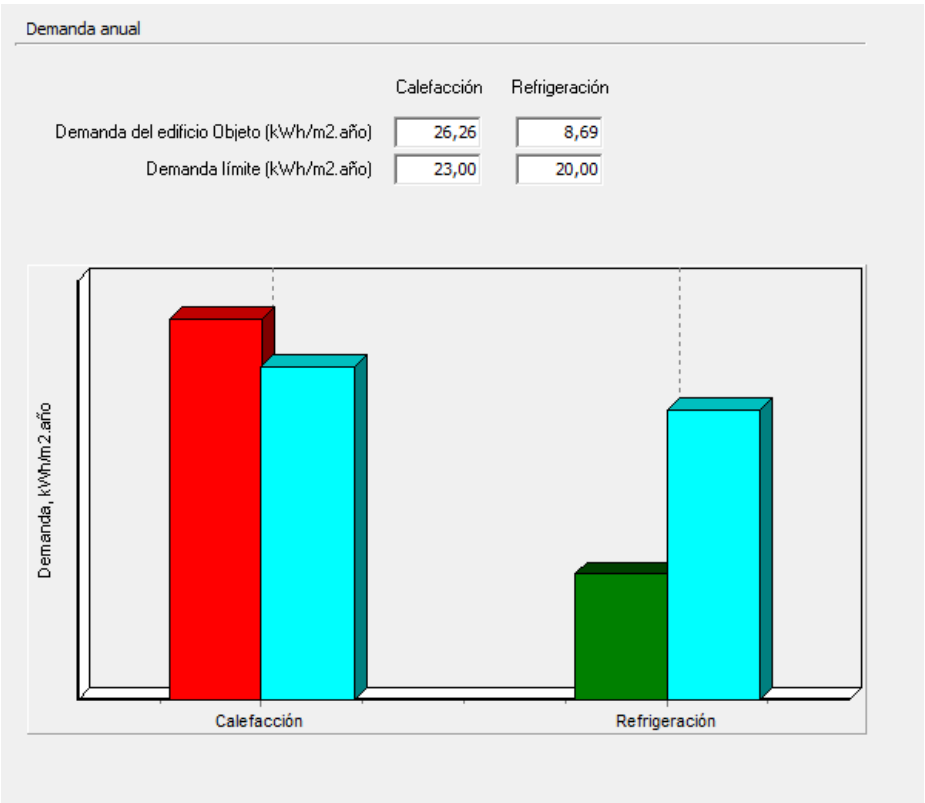


Figura 2.98 Demanda anual modelo 33 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

En la figura 2.98 se muestra como se ha reducido un 36,88% en la demanda de calefacción y un 24,50 % la demanda de refrigeración respecto al modelo actual. Se vuelve a observar por tanto que implementar el espesor de 5 a 8 cm en la cubierta, no aumenta a penar la eficiencia, solo disminuye menos de un 1% la demanda de calefacción y un 1% la de refrigeración respecto al anterior.

En la figura 2.97 se observa como se reduce un 35,76 % los kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> respecto al modelo real. Solo disminuye menos de un 1% las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al modelo anterior.

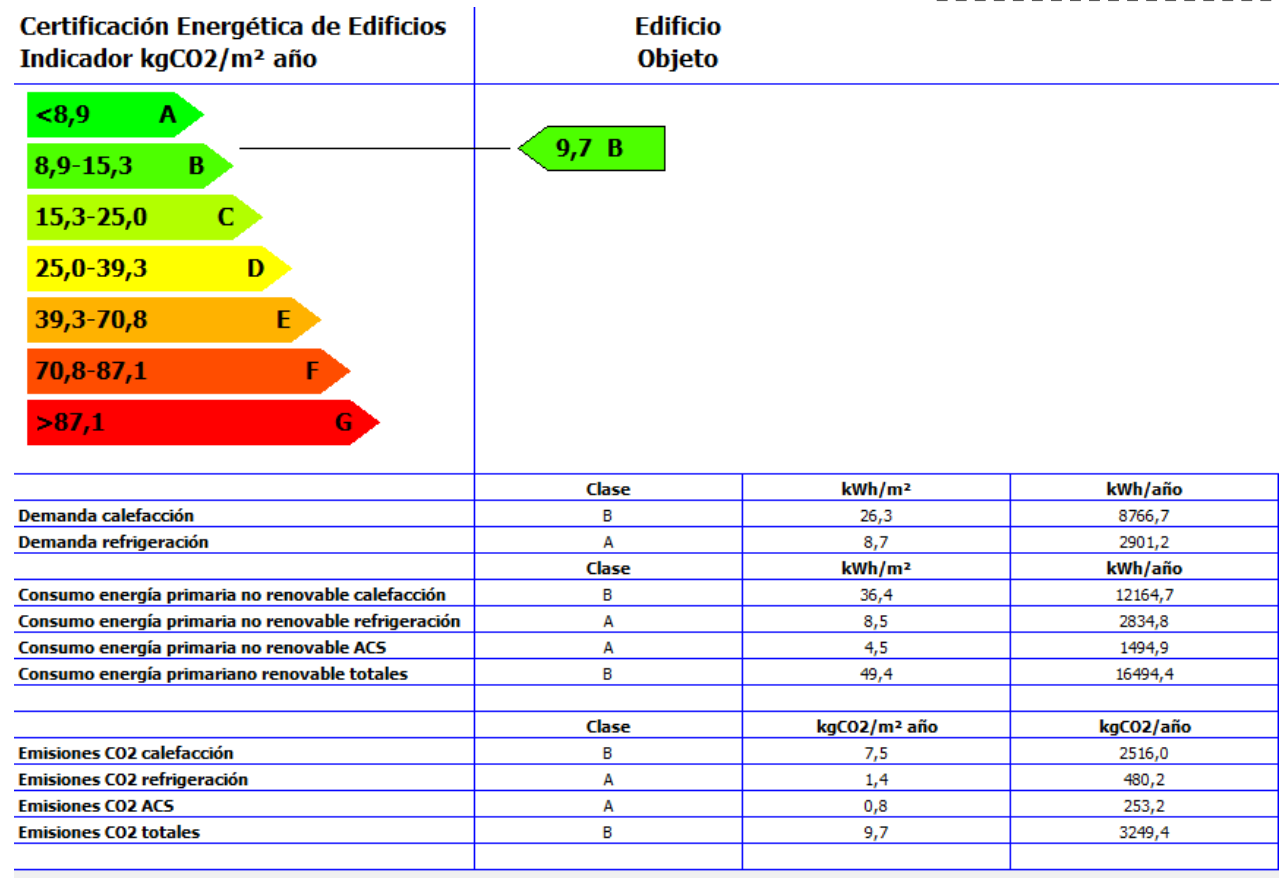
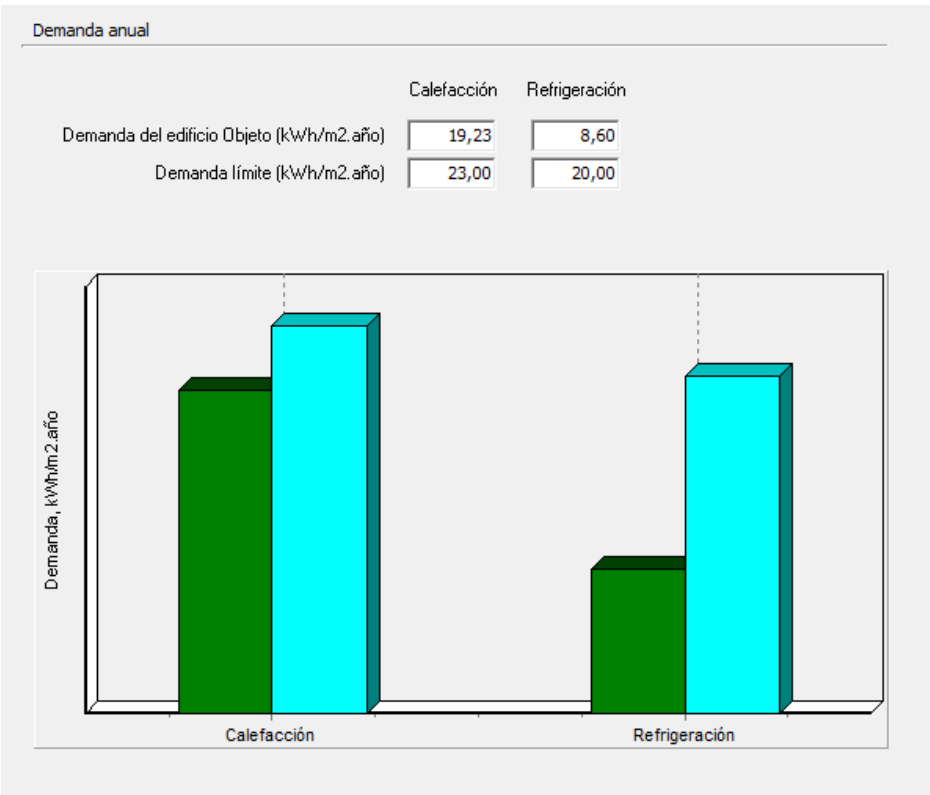


Figura 2.99 Certificación energética del modelo 33 (Fuente: Elaboración propia.)



SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 34:** modelo 3 + modelo 7 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm). + cámaras estancas.



Discusión resultados:

Al introducirle al modelo anterior las zonas no habitables de las cubiertas, zonas estancas, se observa como ya cumplimos y reducimos de manera muy evidente las demandas tanto e calefacción como refrigeración. Por otra parte, ya conseguimos la calificación energética con la letra A. Sin embargo, esta no es la solución constructiva más eficiente energéticamente, ya que estamos utilizando más aislamiento del que necesitamos, por lo que creamos otros modelos en los que se utilice menores espesores de los aislantes para las soluciones constructivas.

Figura 2.100 Demanda anual modelo 34 (Fuente: Elaboración propia.)

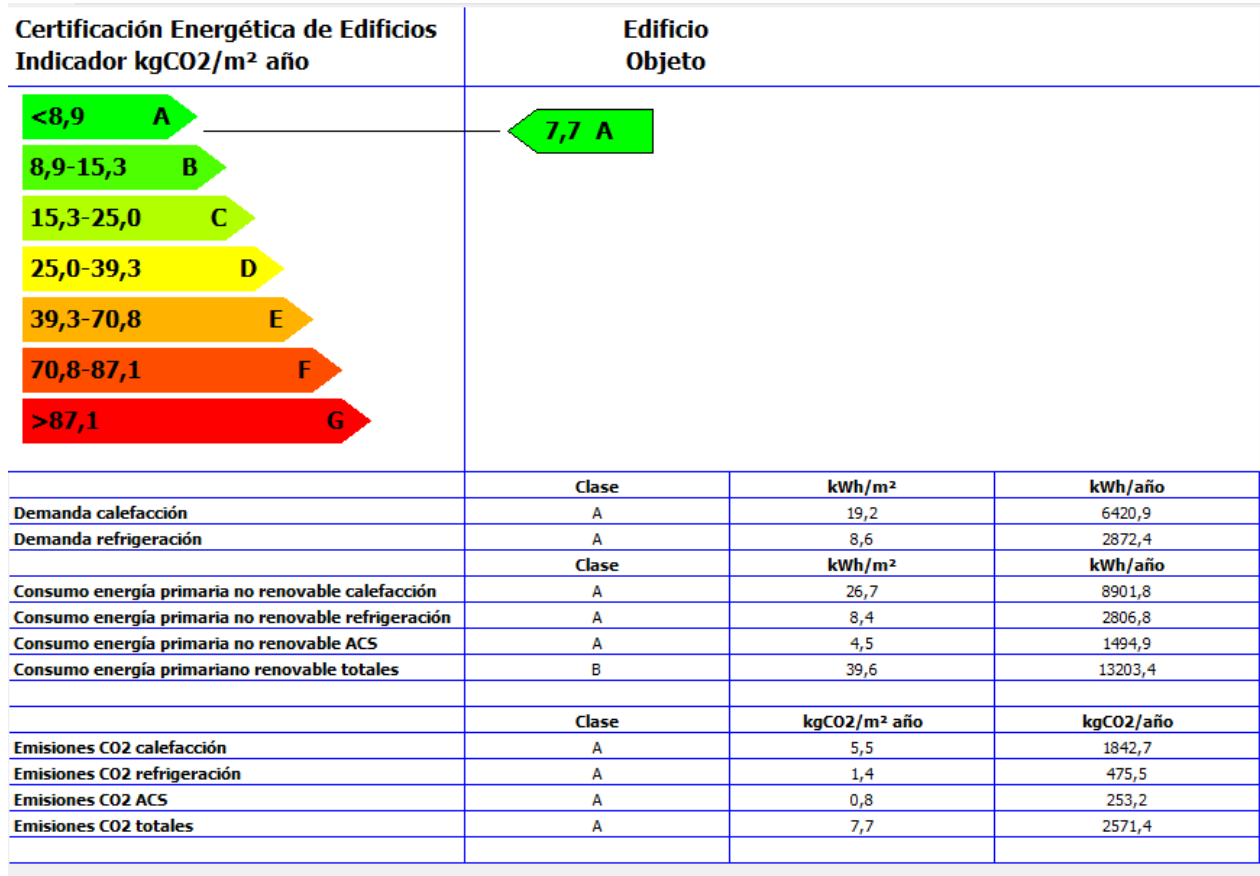


Figura 2.101 Certificación energética del modelo 34 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 35:** modelo 3 + modelo 6 + modelo 8+ cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.

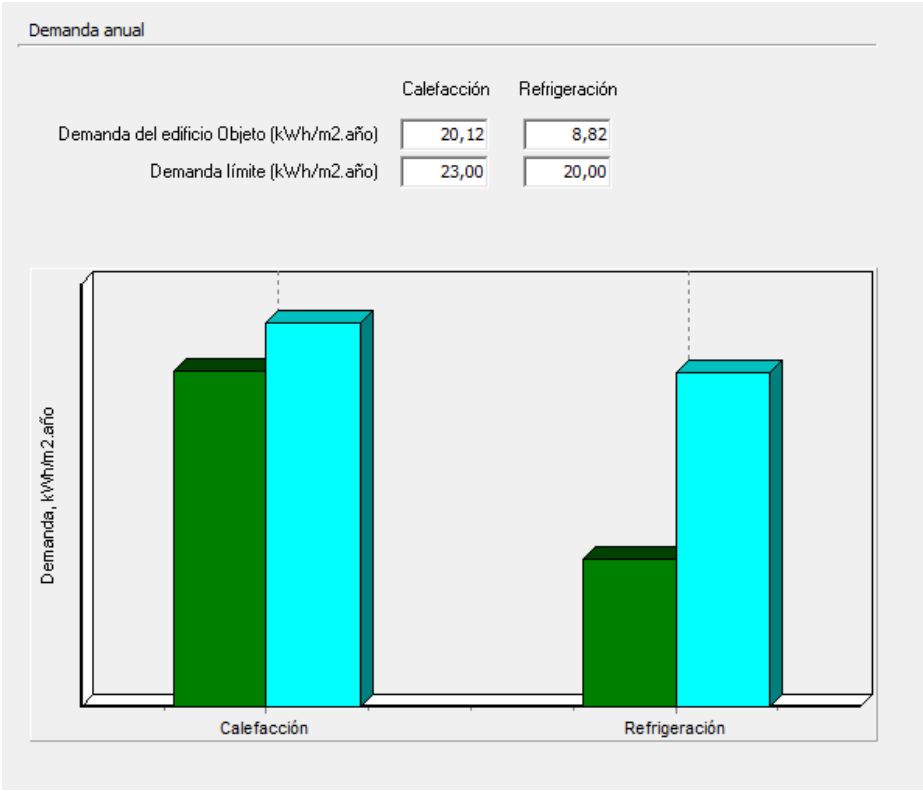


Figura 2.102 Demanda anual modelo 35 (Fuente: Elaboración propia.)

Discusión resultados:

Al reducir el aislamiento de 8 a 5 cm en la cubierta desde el interior, seguimos observando en la figura 2.102 como las demandas no varían a penas respecto al modelo anterior. Seguimos encontrándonos por muy por debajo de la demanda máxima y cumpliendo sobradamente estos máximos, por lo tanto debemos de seguir probando hasta encontrar el modelo que combine las hipótesis en la que el modelo sea lo más eficiente posible.

En la figura 2.103 se observa como seguimos obteniendo la letra A. Se reduce un 47,02 % las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al modelo real.

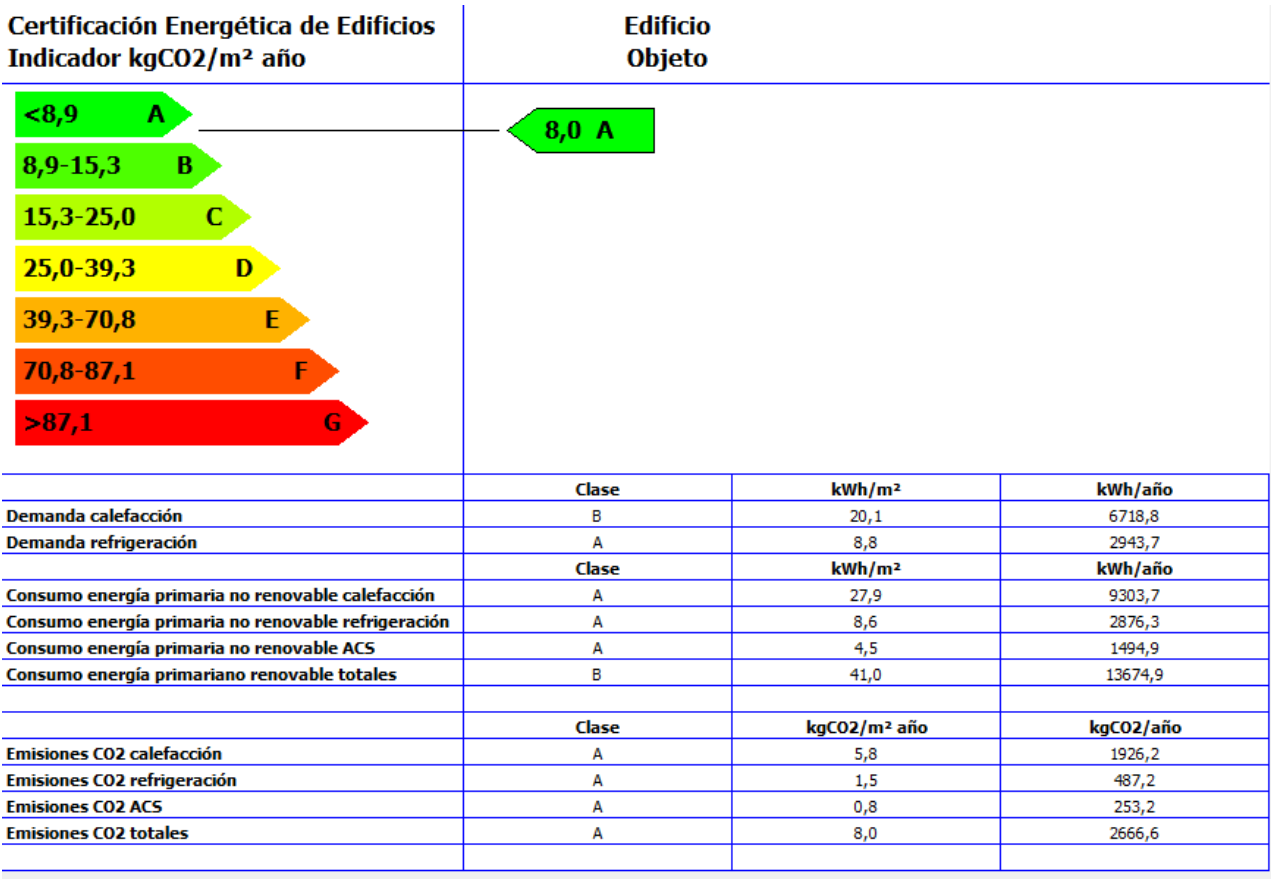
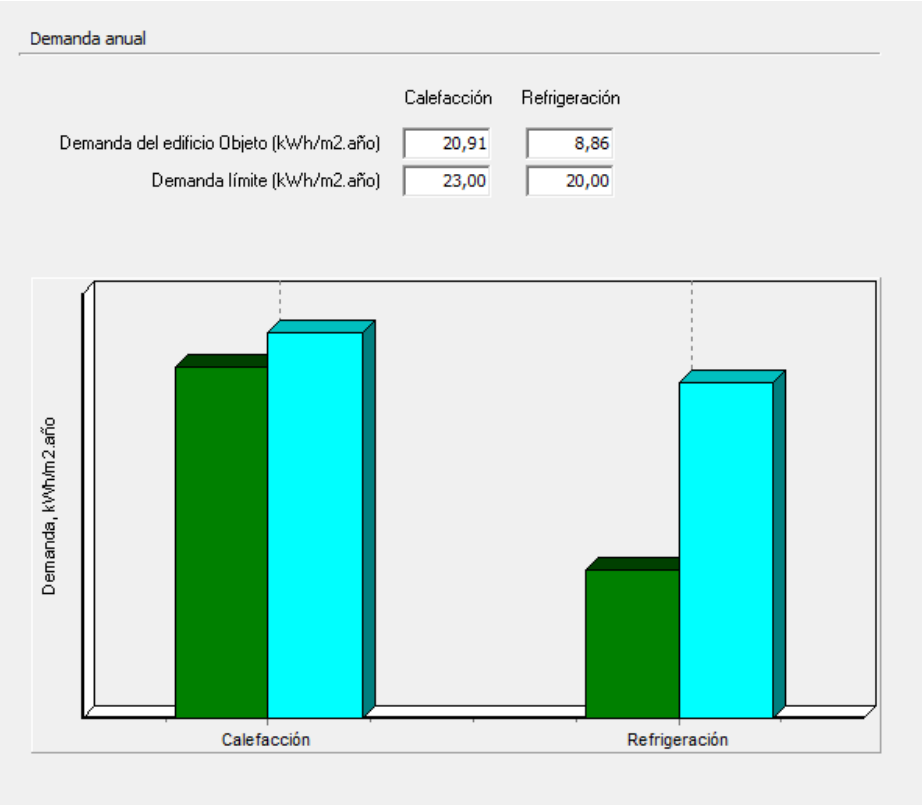


Figura 2.103 Certificación energética del modelo 35 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 36:** modelo 2 + modelo 7 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 8cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.



Discusión resultados:

En la figura 2.104 se observa como se reduce un 49,74% la demanda de calefacción y un 23,02% la demanda de refrigeración. Seguimos cumpliendo los valores máximos de demandas, por lo que seguimos probando con otros espesores de asilamientos hasta encontrar el modelo combinado más eficiente.

En la figura 2.105 se observa como seguimos obteniendo la letra A. Se reduce un 45,03 % las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al modelo real.

Figura 2.104 Demanda anual modelo 36 (Fuente: Elaboración propia.)

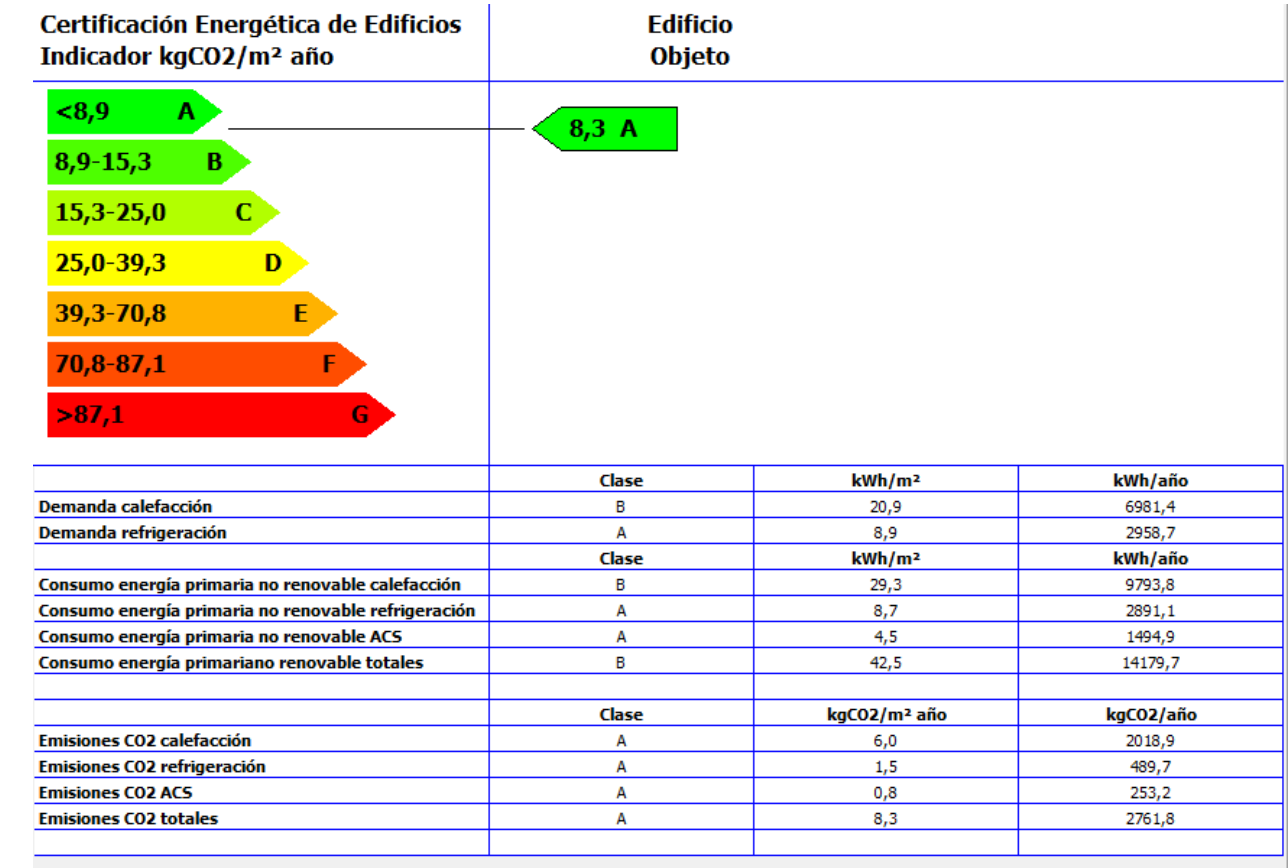
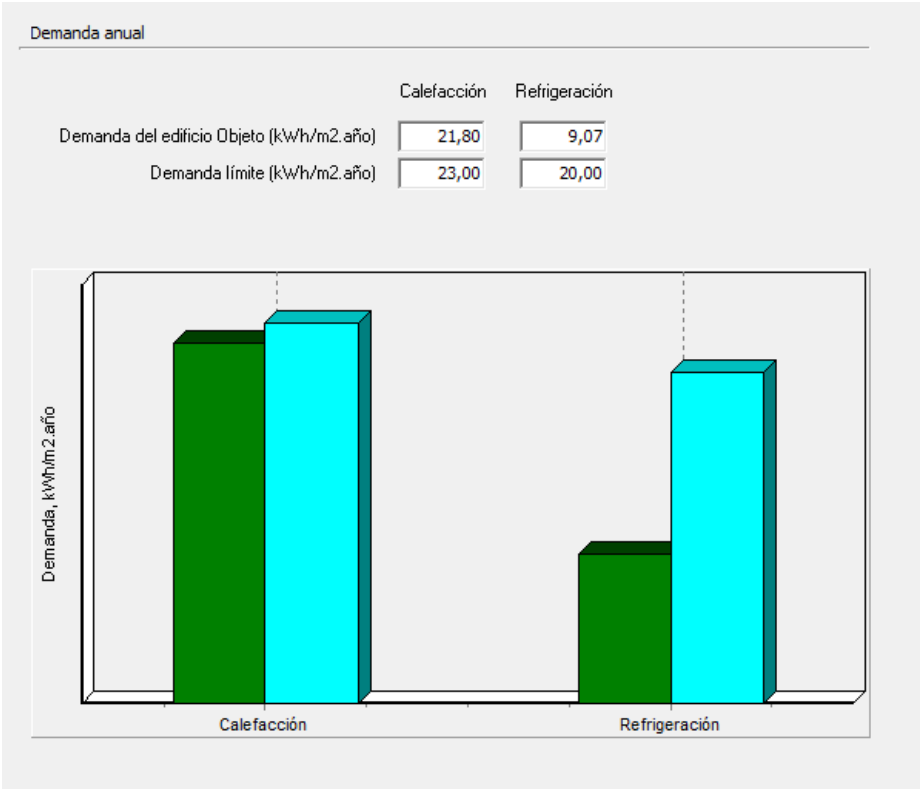


Figura 2.105 Certificación energética del modelo 36 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 37:** modelo 2 + modelo 6 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 5cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.



Discusión resultados:

En la figura 2.106 se observa como se iguala la demanda de calefacción de nuestro modelo con el edificio de referencia, sin embargo, al tener aislamiento térmico en la cubierta de 5cm, se prueba con un aislamiento menor, para poder comprobar si aún se sigue cumpliendo los mínimos establecidos de las demandas.

Seguimos encontrándonos con la letra A en la certificación energética.

Figura 2.106 Demanda anual modelo 37 (Fuente: Elaboración propia.)

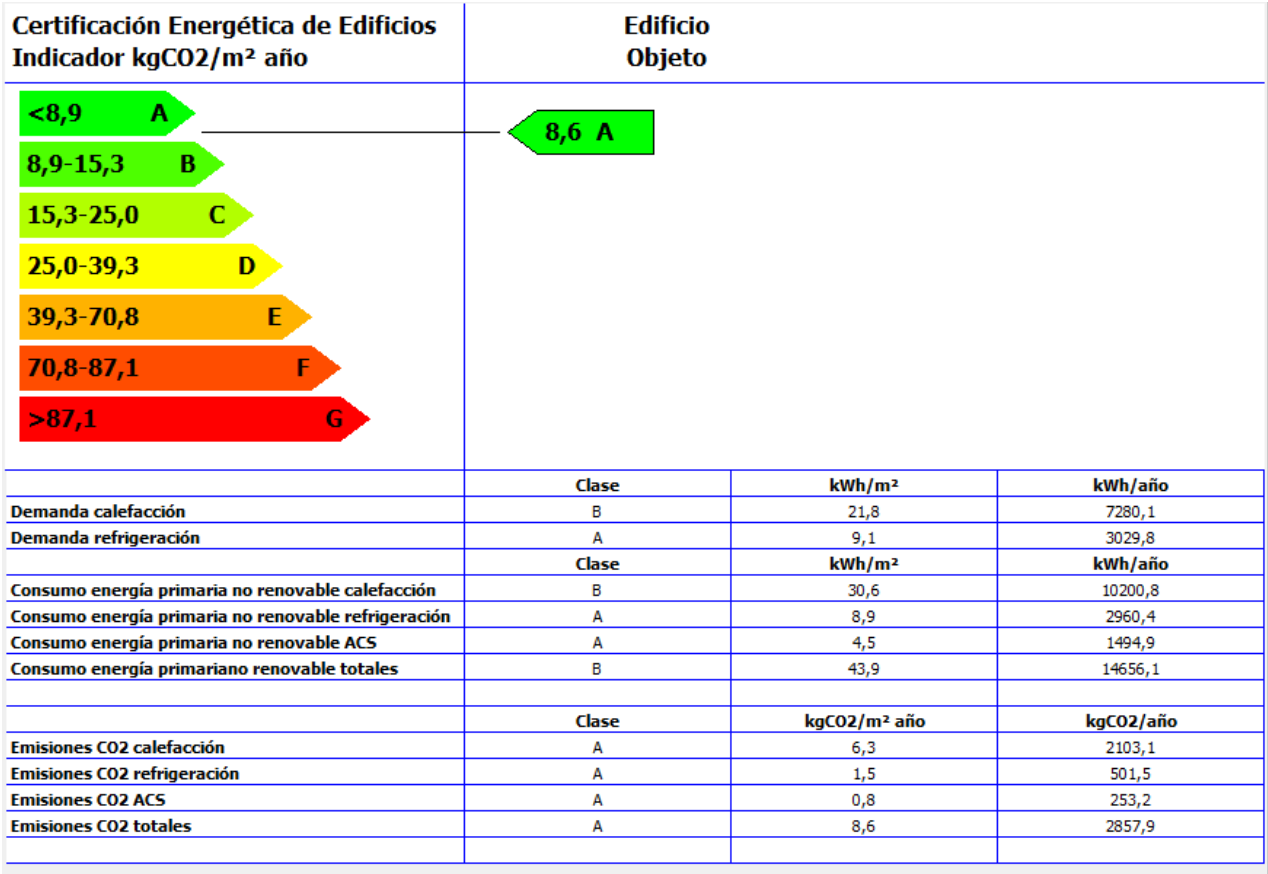


Figura 2.107 Certificación energética del modelo 37 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 38: modelo 2 + modelo 5 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.

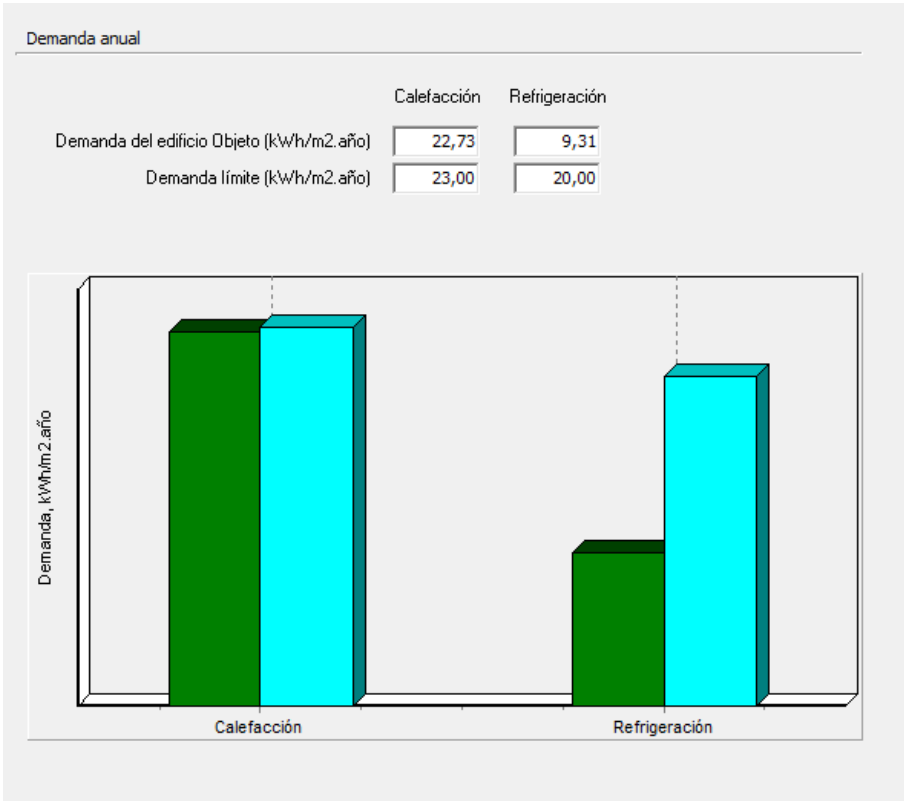
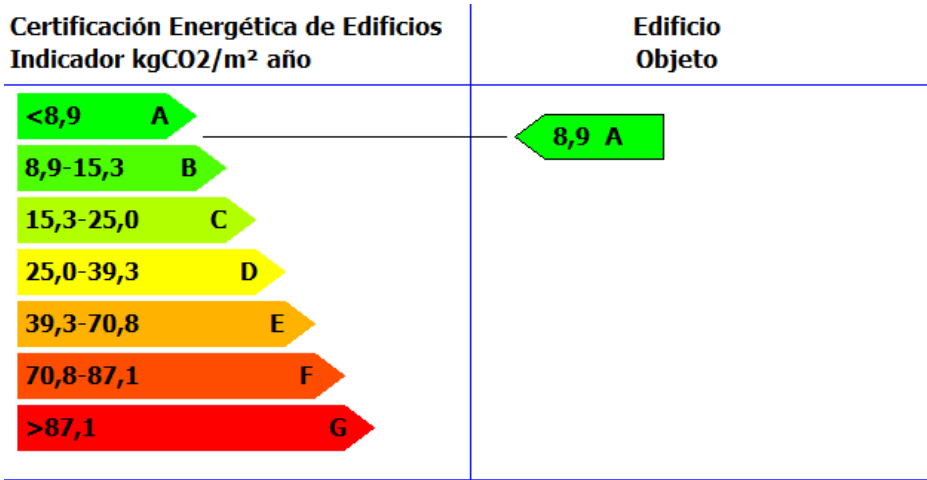


Figura 2.108 Demanda anual modelo 38 (Fuente: Elaboración propia.)



Discusión resultados:

En la figura 2.108 observamos como la gráfica de la demanda de calefacción de nuestro modelo se iguala a la del edificio de referencia, lo que quiere decir que este modelo ya es muy eficiente. Es el modelo más eficiente, el que utiliza la mínima materialidad y cumple todos lo niveles de demandas, consumos y emisiones que se establecen en el CTE. En los siguiente modelos se prueba si suprimiéndose una solución constructiva (una hipótesis simple) cumplimos la normativa. Aunque se adelanta que no.

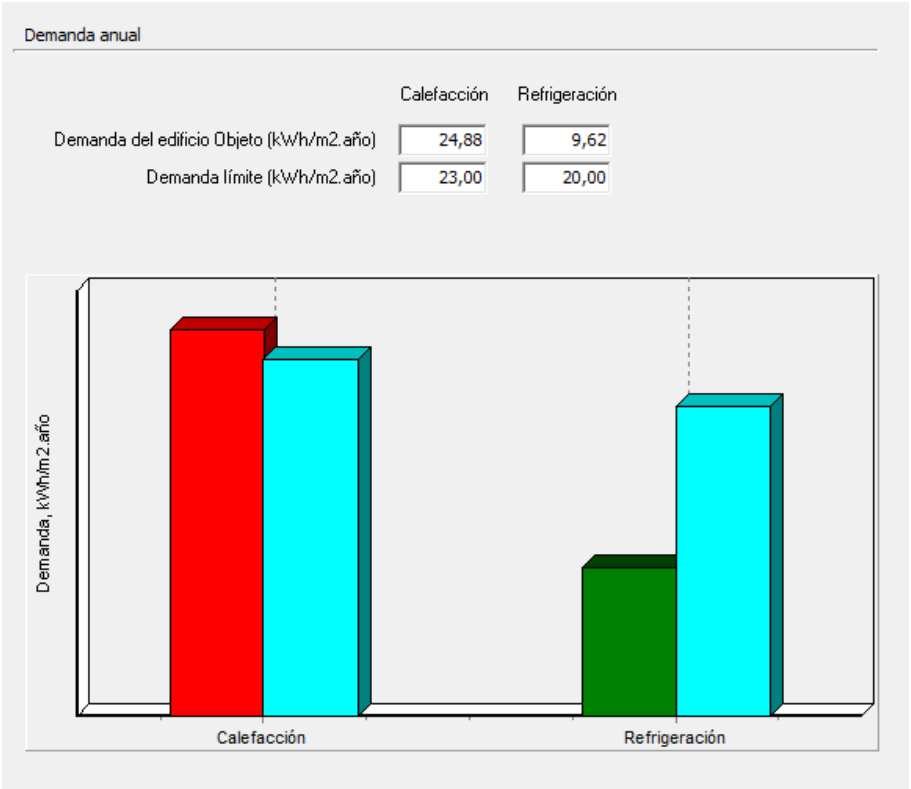
En el caso de tuviéramos que hacer una rehabilitación energética real utilizaríamos este modelo, ya que aunque sabemos que en obra a veces se usa igualdad de espesores en aislamiento por comodidad, en nuestro caso no vemos necesario utilizar aislamiento térmico en la cubierta de 5cm, si no es necesario, ya que seguimos el criterio de mínima materialidad y mayor eficiencia.

	Clase	kWh/m²	kWh/año
Demanda calefacción	B	22,7	7588,3
Demanda refrigeración	A	9,3	3106,9
	Clase	kWh/m²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	31,9	10635,5
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	9,1	3035,8
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	4,5	1494,9
Consumo energía primariano renovable totales	B	45,4	15166,1
	Clase	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	B	6,6	2193,0
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,5	514,3
Emisiones CO2 ACS	A	0,8	253,2
Emisiones CO2 totales	A	8,9	2960,4

Figura 2.109 Certificación energética del modelo 38 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 39:** modelo 1 + modelo 5 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 3 cm + aislamiento térmico en la cubierta desde el interior de EPS (0,037) W/m K = 3cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.



Discusión resultados:

En este modelo se observa que ya no cumple la demanda máxima de calefacción, ya que hemos pasado de un SATE de espesor 5cm a uno de 3cm, y el sistema SATE, en este caso, es la solución constructiva que produce un mayor cambio en las demandas de del edificio, en su consumo y en las emisiones globales de CO2.

A continuación una vez comprado que con este modelo no se cumple las condiciones necesarias. Se probará aumentado el SATE a 5 cm, pero suprimiendo el sistema de aislamiento en la cubierta.

Figura 2.110 Demanda anual modelo 39 (Fuente: Elaboración propia.)

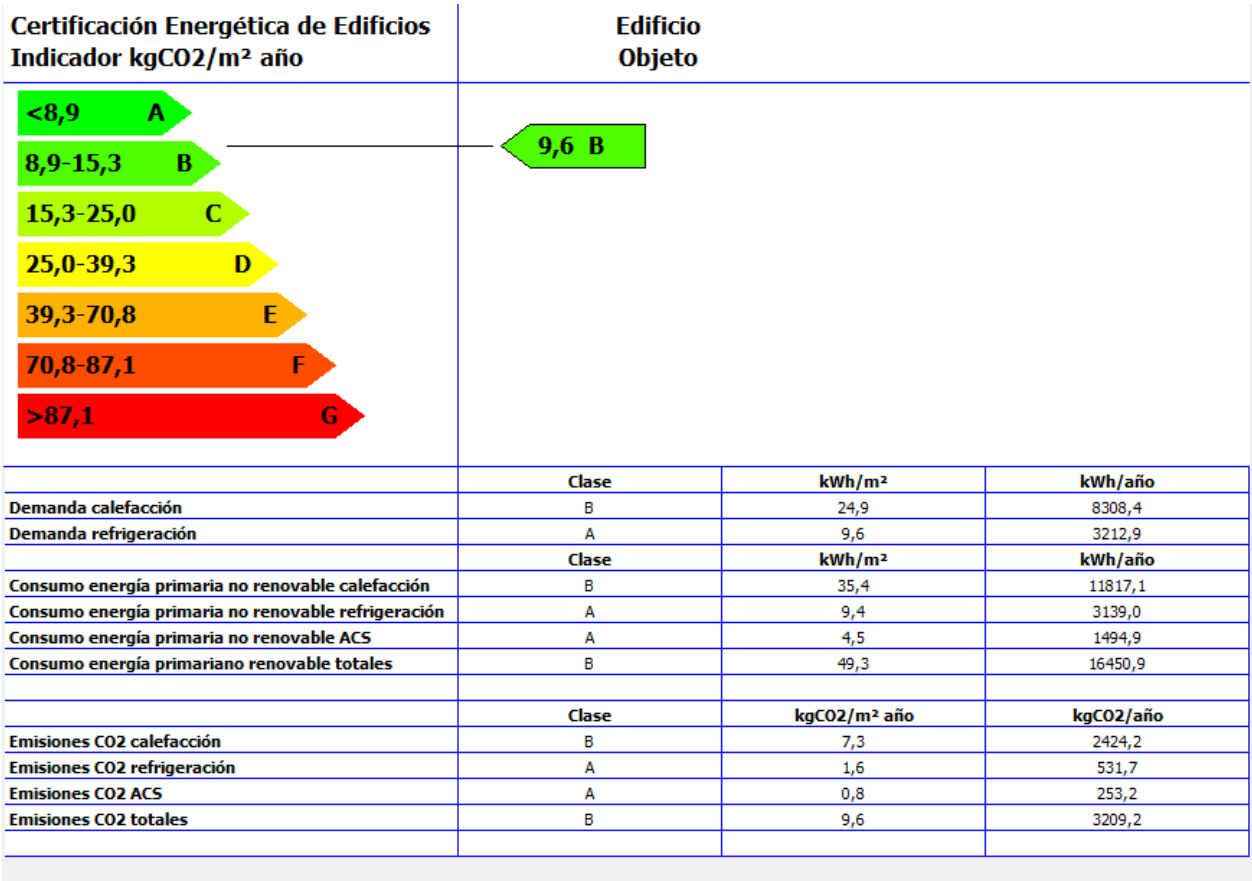
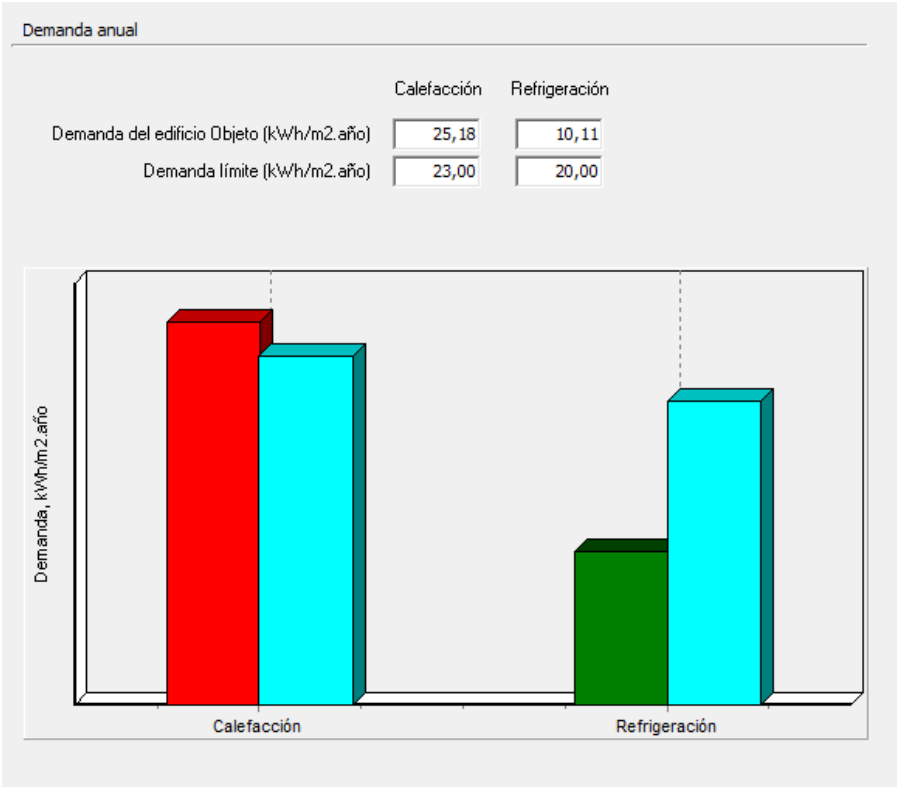


Figura 2.111 Certificación energética del modelo 39 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 40: modelo 2 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 5 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.



Discusión resultados:

En la figura 2.112 se observa como al prescindir del aislamiento de la cubierta, ya no cumple las exigencias de la demanda de calefacción, aunque como nos encontramos muy cerca de esta demanda máxima, vamos a probar si aumentando el espesor del aislamiento del sistema SATE, se puede llegar a cumplir el máximo de la demanda de calefacción.

Por otra parte, como se observa en la figura 2.113 descendemos de letra a la B, con este modelo.

Figura 2.112 Demanda anual modelo 40 (Fuente: Elaboración propia.)

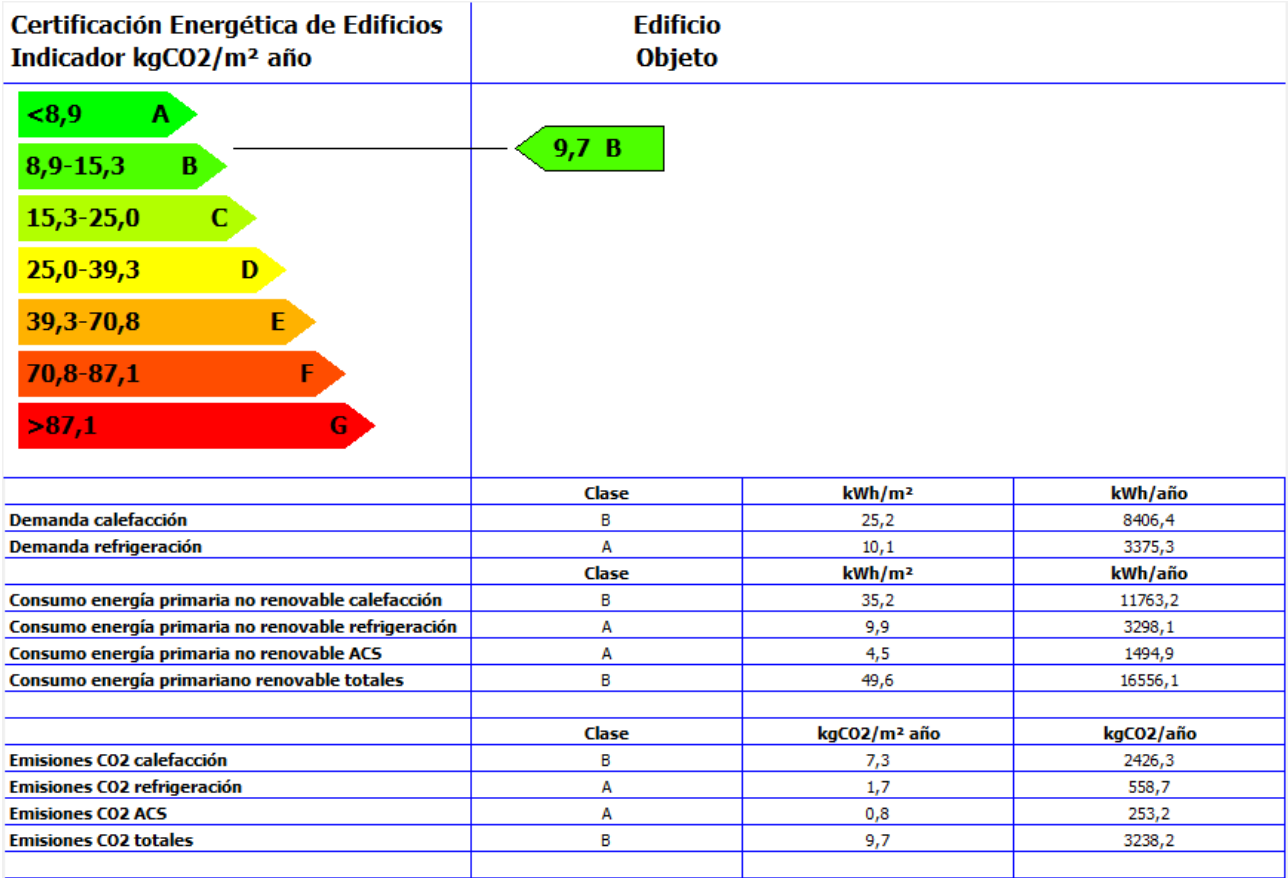
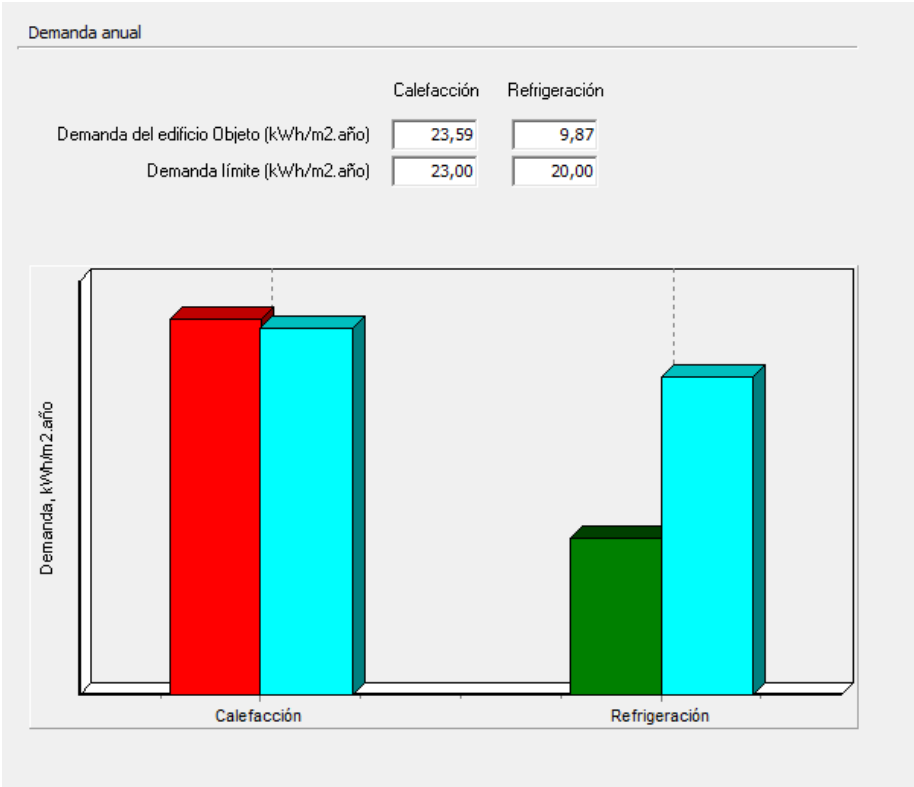


Figura 2.113 Certificación energética del modelo 40 (Fuente: Elaboración propia.)

SATE + AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS + CÁMARAS ESTANCAS

- Modelo 41:** modelo 3 + modelo 8 + cámaras estancas; es decir, sistema SATE, con aislamiento de EPS (0,037) W/m K de espesor 8 cm + Ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm) + cámaras estancas.



Discusión resultados:

En la figura 2.114 se observa que casi se cumple el máximo establecido para la demanda de calefacción , sin embargo, se sobrepasa 59 kW.h/m<sup>2</sup> año por lo que no se podría utilizar este modelo para rehabilitar. Por lo que siguiendo el discurso de este trabajo, en el que no se quieren utilizar medios activos para la rehabilitación, observamos que sin el aislamiento en la cubierta, y sin añadir otras hipótesis simples, no se cumpliría el máximo de demanda de calefacción.

En la figura 2.115 se observa que volveríamos a obtener la calificación energética B.

Figura 2.114 Demanda anual modelo 41 (Fuente: Elaboración propia.)

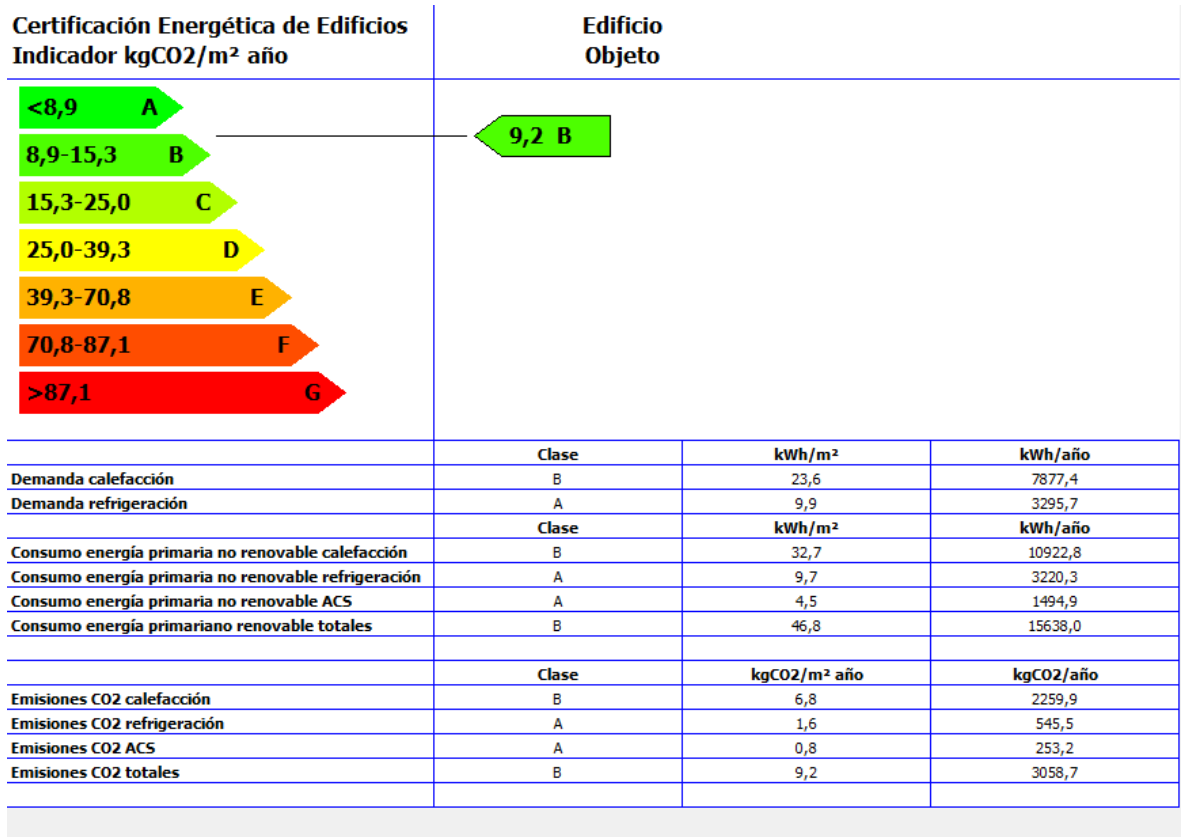


Figura 2.115 Certificación energética del modelo 41 (Fuente: Elaboración propia.)



En la siguiente Figura 2.116, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos de cada modelo en la que se describe: las hipótesis creadas, el modelo que corresponde, la descripción de este modelo, la demanda de calefacción, la demanda de refrigeración y la certificación energética.

En la columna de la demanda de calefacción los colores indican, de color rojo más oscuro a claro los valores de la demanda energética de calefacción que sobrepasan del máximo (de mayor a menor sobrepaso) y en amarillo los valores que cumplen el máximo exigido).

En la columna de la demanda de refrigeración se muestra de color verde más oscuro a más claro el valor de la demanda energética de refrigeración (de menor a mayor eficiencia).

MODELO REAL		Actualidad	41,6	11,51	15,2 B
HIPÓTESIS	MODELO	DESCRIPCIÓN	DEMANDA CALEF.	DEMANDA REFRIG.	CERTIF.ENERGÉTICA y LETRA
HIPÓTESIS SIMPLE					
FACHADA	1	SATE EPS=3cm	31,85	10,17	11,8 B
	2	Sate EPS=5cm	29,66	9,86	11,0 B
	3	SATE EPS=8cm	27,95	9,61	10,4 B
	4	Lana mineral=8cm	28,22	9,63	10,5 B
HIPÓTESIS SIMPLE					
CUBIERTA	5	EPS=3cm	41,03	10,96	14,8 B
	6	EPS=5cm	40,86	10,82	14,7 B
	7	EPS=8cm	40,71	10,71	14,7 B
HIPÓTESIS SIMPLE					
HUECOS	8	Ventanas metálicas	40,82	11,44	14,8 B
	9	Ventanas metálicas y madera	39,87	11,43	14,6 B
HIPÓTESIS COMPUESTA					
SATE + CUBIERTA	10	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 3cm	31,26	9,6	11,5 B
	11	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 3cm	29,07	9,28	10,7 B
	12	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 3cm	27,35	9,03	10,2 B
	13	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 5cm	31,09	9,46	11,4 B
	14	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 8cm	30,94	9,34	11,4 B
	15	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 5cm	28,89	9,14	10,7 B
	16	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 8cm	28,74	9,02	10,6 B
	17	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 5cm	27,18	8,89	10,1 B
	18	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 8cm	27,02	8,77	10,0 B
HIPÓTESIS COMPUESTA					
SATE + VENTANAS METÁLICAS	19	SATE EPS= 3cm + ventanas metálicas	31,07	10,1	11,5 B
	20	SATE EPS= 5cm + ventanas metálicas	28,88	9,78	10,7 B
	21	SATE EPS= 8cm + ventanas metálicas	27,18	9,53	10,1 B

HIPÓTESIS COMPUESTA					
CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS	22	Cubierta EPS= 3cm + ventanas metálicas	40,25	10,89	14,5 B
	23	Cubierta EPS= 5cm + ventanas metálicas	40,08	10,75	14,5 B
	24	Cubierta EPS= 8cm + ventanas metálicas	39,93	10,64	14,4 B
HIPÓTESIS COMPUESTA					
SATE + CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS (VM)	25	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 3cm + VM	30,48	9,52	11,2 B
	26	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 3cm + VM	28,29	9,21	10,5 B
	27	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 3cm + VM	26,59	8,95	9,9 B
	28	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 5cm + VM	30,3	9,38	11,1 B
	29	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 8cm + VM	30,15	9,26	11,1 B
	30	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 5cm + VM	28,12	9,06	10,4 B
	31	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 8cm + VM	27,96	8,95	10,3 B
	32	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 5cm + VM	26,41	8,81	9,8 B
	33	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 8cm + VM	26,26	8,69	9,7 B
HIPÓTESIS COMPUESTA					
SATE + CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS (VM) + CÁMARAS ESTANCAS (EST.)	34	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 8cm + VM + Est.	19,23	8,6	7,7 A
	35	SATE EPS= 8cm + Cubierta EPS= 5cm + VM + Est.	20,12	8,82	8,0 A
	36	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 8cm + VM + Est.	20,91	8,86	8,3 A
	37	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 5cm + VM + Est.	21,8	9,07	8,6 A
	38	SATE EPS= 5cm + Cubierta EPS= 3cm + VM + Est.	22,73	9,31	8,9 A
	39	SATE EPS= 3cm + Cubierta EPS= 3cm + VM + Est.	24,88	9,62	9,6 B
	40	SATE EPS= 5cm + VM + Est.	25,16	10,11	9,7 B
	41	SATE EPS= 8cm + VM + Est.	23,59	9,87	9,2 B
EDIFICIO REFERENCIA					
			23	20	

Figura 2.116 Resultados modelos (Fuente: Elaboración propia.)

En los resultados de la Figura 2.116 y en los gráficos de las figuras 2.117 y 2.118 observamos que en todos los modelos la demanda de refrigeración siempre se encontraba por debajo de la máxima permitida (señalada en la figura 2.118 con una línea verde horizontal discontinua), mientras que no se consigue bajar la demanda máxima de calefacción (señalada en la figura 2.118 con una línea verde horizontal discontinua) hasta que no se introduce la combinación de todas las hipótesis simples + las cámaras estancas de los espacios no habitables de las cubiertas.

En ambas figuras se simbolizan en el eje de abscisas los 41 modelos creados en las hipótesis, el 42 correspondería al modelo del edificio que el programa informático te crea de referencia para establecer unos valores máximos de demanda y el 43 el modelo de la vivienda en la actualidad. En el eje de ordenadas se muestran las demandas anuales, en la figura 2.117 la demanda de

calefacción y en la figura 2.118 la demanda de refrigeración. En ambos casos el modelo 38 es el que energéticamente entendemos que es más eficiente y por ello la mejor solución para la rehabilitación y lo señalamos con el color rosa. El color azul representa al resto de modelos no elegidos. Y el resto de colores son utilizados al representan el mismo significado que en la figura 2.116.

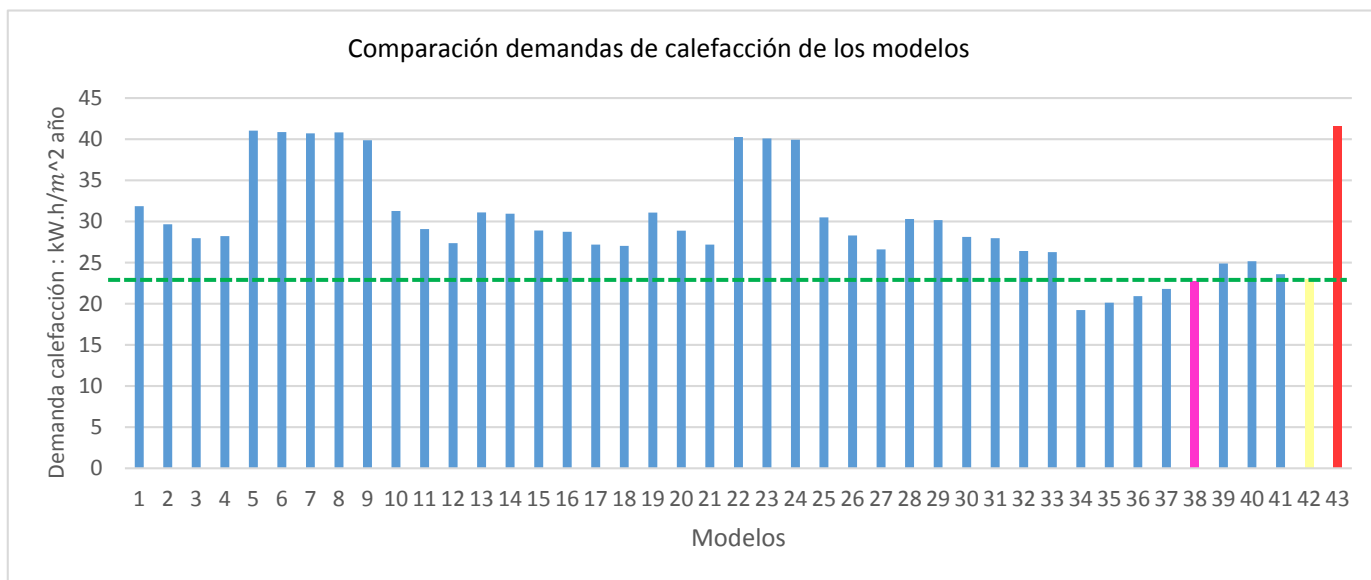


Figura 2.117 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de calefacción de los modelos.  
(Fuente: Elaboración propia.)

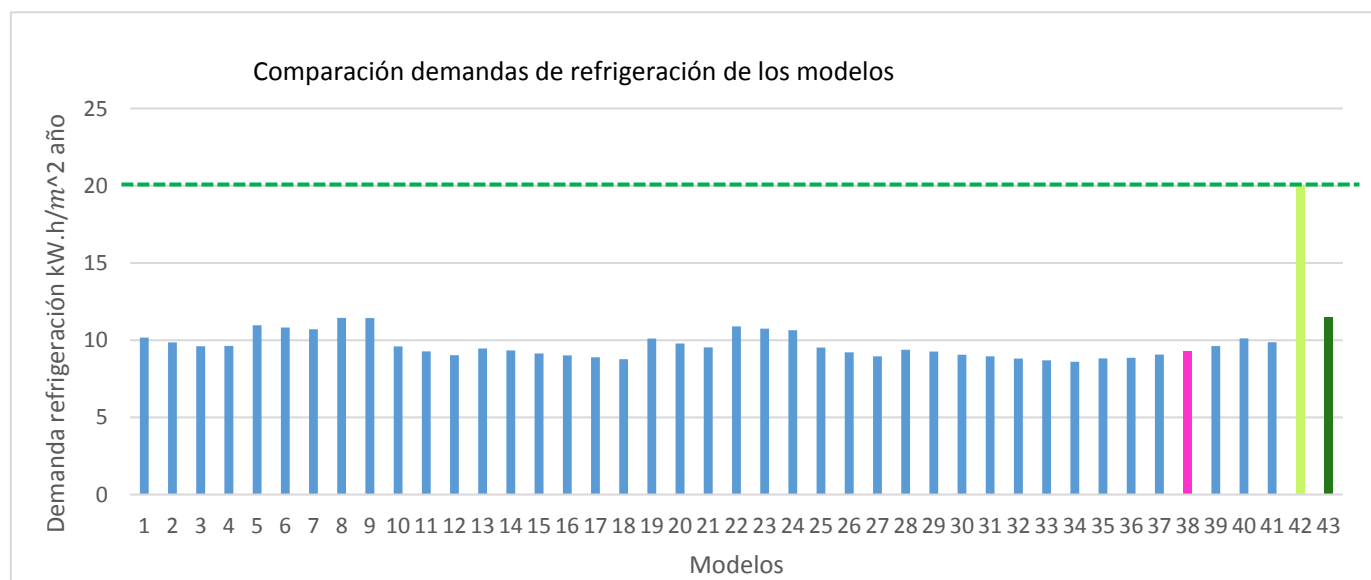


Figura 2.118 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de refrigeración de los modelos.  
(Fuente: Elaboración propia.)

### MODELO ELEGIDO (Modelo 38)

Este modelo como se puede observar que es el más eficiente energéticamente, en él se ha modificado:

- Fachadas: Sistema Sate de Poliestireno expandido de espesor 5cm
- Cubierta: Implementación de aislamiento interior de poliestireno expandido de espesor 3cm.
- Huecos: Sustitución de las ventanas metálicas antiguas y sin ningún carácter arquitectónico por ventanas de doble vidrio (4-9-4) mm con marcos metálicos con rotura de puente térmico (entre 4-12 mm). Se trata únicamente de 4 ventanas.
- Cámaras estancas: Introducción de un sistema de cierre de las aperturas de ventilación de los empalmados de los tejados.

Tras hacer las combinaciones de las hipótesis, se observa que este es el modelo más eficiente. No por las demandas y las certificaciones que se obtiene, ya que existen otros modelos que mejoran aún más estos resultados, sino porque se pretende hacer una rehabilitación energética en la que se utilice la menor materialidad posible obteniendo buenos resultados, tanto por el tema económico como por el tema energético y de explotación de materiales. Y este sería el caso más adecuado. Ya que el aislamiento de mayor espesor (5cm) se localiza en ambas fachadas, que suponen una superficie mucho menor que la cubierta, y en la cubierta que es dónde hay mayor superficie se dispone el aislamiento de menor espesor (3cm). Por otra parte solo cambiando 4 ventanas metálicas se mejora su eficiencia. Y por último, sin necesidad de utilización de ninguna materialidad (excepto unas tapaderas metálicas) se consigue un aumento muy significativo de la eficiencia energética simplemente creando cámaras estancas de aire en los empalmados.

A continuación se hace una comparación de las demandas y la calificación energética de la vivienda actual (modelo real) y la solución que se considera más acertada para la rehabilitación energética de la vivienda (modelo 38):

#### Demanda de calefacción:

De un 41.60 kW.h/m<sup>2</sup> año pasa a 22.73 kW.h/m<sup>2</sup> año, por lo que **se ha reducido un 45.3%** la demanda de calefacción.

#### Demanda de refrigeración:

De un 11.51 kW.h/m<sup>2</sup> año pasa a 9.31kW.h/m<sup>2</sup> año, por lo que **se ha reducido un 19.11%** la demanda de refrigeración.

#### Calificación energética:

De un 15.1 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año que se emiten a la atmósfera, se pasa a un 8.9 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> año por lo que **se ha reducido un 58.94%** de las emisiones.

Por otra parte se consigue un **aumento de la calificación de la eficiencia energética**, se pasa de tener una letra **B a una A**.

En la figura 2.119 se muestran estos valores de demandas obtenidos, tanto de calefacción como de refrigeración de los siguientes modelos: del modelo elegido (modelo 38), del edificio referencia y del modelo real, en forma de gráfica.

Se observa como el modelo elegido presenta muchas similitudes con el modelo de referencia que te genera el programa, sin embargo, consigue disminuir de manera evidente la demanda de refrigeración (columna izquierda) respecto a este modelo, mientras que la demanda de calefacción (columna derecha) es prácticamente igual. Por otra parte, si comparamos el modelo elegido con el modelo real, se puede observar claramente la disminución a casi la mitad de la demanda de calefacción (columna derecha) y en una parte considerable la de refrigeración (columna izquierda) .

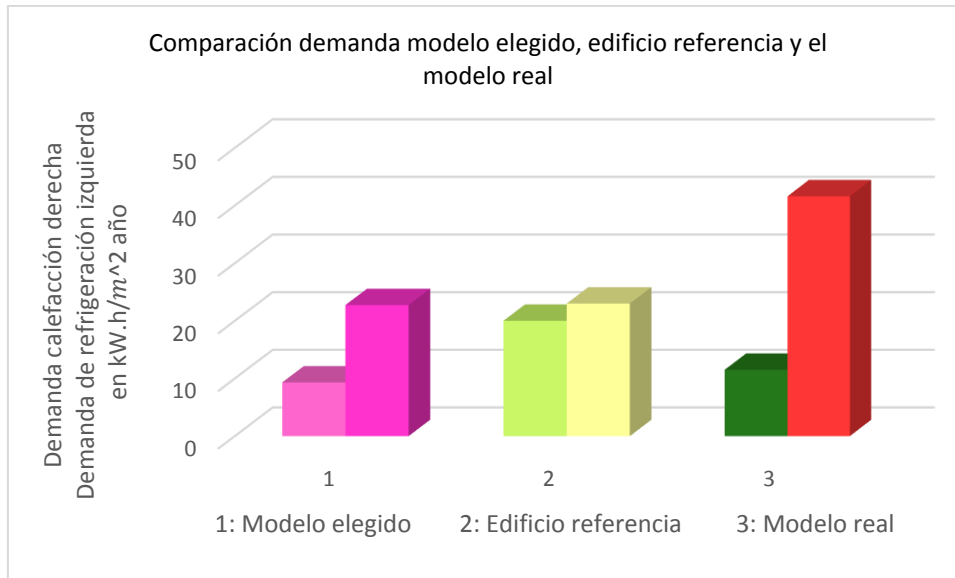


Figura 2.119 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de calefacción (columna derecha) y la demanda de refrigeración (columna izquierda) de: el modelo elegido, el edificio referencia y el modelo real. (Fuente: Elaboración propia.)

### **3. CONCLUSIONES**

Tras la realización del estudio, se pueden crear dos grupos diferentes de conclusiones. Las conclusiones que se llegan tras la realización del modelo en el programa informático del estado actual y tras la rehabilitación:

#### **Estado actual**

-A pesar de ser una arquitectura vernácula, que no se ha hecho cumpliendo ninguna normativa y que incumple hoy en día la normativa actual, los edificios entre medianeras de los centros históricos funcionan energéticamente muy bien, consiguiendo sin ninguna actuación de rehabilitación energética la calificación con la letra B. Esto es debido a la gran inercia térmica que los muros de carga presentan, debido a su gran espesor y a la gran superficie de medianeras que está presente en esta tipología de vivienda.

-Al contrario de lo que se pueda pensar, abrir el patio de las típicas casas patio, no ayuda a aumentar la eficiencia energética de una vivienda, ya que esta apertura produce que incida directamente más el sol y por tanto no es funcional para el verano (aumenta la demanda de refrigeración) y tampoco es funcional en este caso, para el invierno ya que permite tener más fachada al exterior y esto produce que se existan más filtraciones, humedades, puentes térmicos etc. por lo que aumenta la demanda de calefacción. La mejor solución sería una cubierta para el patio a través de la cual se pudiera ventilar.

#### **Tras la rehabilitación**

-En el caso de estudio, debido a la situación geográfica, la tipología de la vivienda y las condiciones de esta, la demanda de calefacción es mucho mayor que la de refrigeración, al contrario de lo que se pueda pensar, ya que aunque los muros tienen mucha inercia térmica no consiguen reducir la demanda de calefacción todo lo que deberían y la mejor solución para este problema es la utilización del aislamiento.

Con la aparición del aislamiento se pueden solucionar la pobreza energética de muchas de estas viviendas, mejorando el confort térmico de estas y reduciendo los costes de su uso. Sin embargo, llegado a un cierto grosor del aislamiento, seguir aumentando este no es eficiente, es necesario utilizar otras técnicas.

-En el caso de viviendas de este tipo, en la que las cubiertas estén hechas a través de un tejado empalomado ventilado, y en el que la demanda de calefacción sea muy superior a la de refrigeración, hacer este espacio estanco, es decir, no ventilado, puede ser una muy buena solución para reducir la demanda de calefacción. Es una buena solución ya que es una forma pasiva de disminuir esta demanda y una actuación reversible. En el caso de que en verano, no fuera necesario esta estanqueidad del tejado, se puede volver a ventilar estas cubiertas.

-Acercar los objetivos del H2020 a la vivienda tradicional mediterránea es posible, aumentar un 20% la eficiencia energética se consiguen con mucha facilidad, incluso sin utilizar ninguna sistema de rehabilitación de forma activa, simplemente mediante instrumentos de rehabilitación de forma pasiva. En este caso particular utilizando solo sistemas pasivos, con la combinación de hipótesis del modelo 38 conseguimos reducir la demanda de calefacción casi un 60%, la de refrigeración casi un 20% y las emisiones de CO<sub>2</sub> casi un 60%, y pasamos de una calificación energética B a una A.

-Por otra parte, se concluye que para este caso de estudio, los sistemas constructivos simulados en el modelo que de forma simple, funcionan mejor son:

- En primer lugar el sistema SATE en fachada, que por sí solo es capaz de reducir casi un 33% la demanda de calefacción, casi un 17% la demanda de refrigeración y más de un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En segundo lugar la sustitución de las carpinterías de las ventanas y sus vidrios (tanto las de madera, como las metálicas, que permiten reducir la demanda de calefacción más de un 4% casi un 2% la demanda de refrigeración y más de un 4% las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En tercer lugar y muy igualada a la sustitución y reemplazamiento de los huecos se sitúa la adición de aislamiento a la cubierta desde el interior. Permite reducir un 2% la demanda de calefacción, más de un 6% la demanda de refrigeración y casi un 3% las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Combinando dos hipótesis simples, los sistemas más efectivos son:

- En primer lugar SATE+ AISLAMIENTO CUBIERTA. Consigue reducir un 35 % la demanda de calefacción, casi un 24 % la demanda de refrigeración y casi un 34% las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En segundo lugar SATE + VENTANAS METÁLICAS. Consigue reducir un 25% la demanda de calefacción, más de un 12% la demanda de refrigeración y casi un 34 % las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En tercer lugar AISLAMIENTO CUBIERTA + VENTANAS METÁLICAS. De la combinación de dos hipótesis simples es el que consigue peores resultados de disminución de demandas y emisiones. Reduce un 4% la demanda de calefacción un 7% la demanda de refrigeración y en torno a un 4% las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Al combinar más de dos hipótesis simples, ya no se puede establecer un porcentaje aproximado de reducción de demanda y emisiones, depende de muchos otros factores, pero sobre todo del espesor del aislamiento, y en este caso de la creación de las cámaras estancas.

#### **4. IDEAS PARA AMPLIAR EL TRABAJO DESARROLLADO**

Tras la realización de este trabajo, veo necesarias tres ramas principales por las que ampliarlo:

-La primera sería el cálculo de los costes de cada modelo adoptado y su amortización a lo largo del tiempo.

Este estudio sería interesante, para poder establecer un baremo de precios aproximados de las diferentes soluciones constructivas a adoptar para una rehabilitación energética. Ya que así, sería más sencillo convencer a la ciudadanía una vez conocidos los costes aproximados de cada obra, de llevarlas a cabo, y además se conseguiría de manera más rápida estos objetivos del horizonte 2020. Ya que en la mayoría de los casos a los usuarios no les preocupa tanto la eficiencia energética de su vivienda, sino el precio de lo que valdría mejorarla.

-La segunda sería análisis de ciclo de vida de los materiales utilizados y estudio de los balances energéticos que la rehabilitación energética produce.

Ya que parece interesante conocer si la energía que realmente se está gastando en la rehabilitación, se amortiza con el paso del tiempo. Y establecer unos valores o una formulación en la que se conozca el tiempo que se tarda en amortizar esta energía, según el tipo de rehabilitación que se haga. Además sería bueno conocer el análisis de ciclo de vida de los materiales utilizados en estas rehabilitaciones, para así poder conocer cuáles son los más adecuados para cada uso.

-La tercera sería el estudio no solo de una única vivienda, sino de un conjunto de las que forman una manzana tradicional mediterránea al completo, para poder obtener valores globales de sus demandas, consumos, calificaciones etc. y estudiar las posibles mejoras de la manzana de manera global.

Sería interesante además, realizar simulaciones de estos diferentes modelos tanto de las manzanas al completo como de las viviendas individuales localizadas en diferentes zonas climáticas, para poder conocer las diferencias y las similitudes que presentan las rehabilitaciones energéticas de las viviendas o manzanas atendiendo a la zona climática a la que pertenezcan y cómo se comportan estas diferentes soluciones constructivas según la zona climática en la que se empleen.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Blázquez, T, R Suárez, and J J Sendra. 2015. "Towards a Calibration of Building Energy Models : A Case Study from the Spanish Housing Stock in the Mediterranean Climate" 67 (540). doi:10.3989/ic.15.081.
- Consejería de economía, innovación, ciencia y empleo. 2014. "DECRETO-LEY 1/2014, de 18 de Marzo, Por El Que Se Regula El Programa de Impulso a La Construcción Sostenible En Andalucía Y Se Efectúa La Convocatoria de Incentivos Para 2014 Y 2015." *Boletín Oficial de La Junta de Andalucía*, no. 58: 9–52.
- Doménech Zea, Vanesa. 2011. "Rehabilitación Energética de edificios. Estudio de Soluciones Constructivas Y Su Viabilidad Económica En La Rehabilitación Energética de La Cubierta de Edificios Existentes En Madrid (TFM)."
- Es, Taria D E, and Stado D E En. 2014. "Ve Ersión 30 D de Abril de E 2014," 1–156.
- Javier, Texto, Consejería Internacional, and L A Comisión Europea. n.d. "El Libro Verde de La Comisión Europea 46," 46–53.
- Luisa, María, Gómez Jiménez, and Área De Derecho. 2007. "Eficiencia Energética Y Edificación Sostenible >," 34–35.
- Modelo, E L, Explicativo D E La, E L Efecto, and D E L O S Recursos Compartidos. 2001. "Universitat Jaume I."
- Nobajas Sánchez, Ángel. 2009. "Sistema de Ayuda a La Toma de Decisiones En Planes de Movilidad Urbana Sostenible [Recurso Electrónico] : Proyecto Fin de Carrera / Autor, Ángel Nobajas Sánchez ; Tutor, Jesús Racero Moreno." [S.l. : s.n.],.
- Orzáez, Manuel J Hermoso, and Guillermo Redrado. 2015. "WPSReview International on Sustainable Housing and Urban Renewal ( RI-SHUR ) WPSReview International on Sustainable Housing and Urban Renewal ( RI-SHUR )" 1 (2014): 57–82.
- Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida. 2010. "Boletín Oficial Del Estado," 13.
- Residuos, De, Dicha Ley, and El Decreto. 2012. "1. Disposiciones Generales," 74–225.
- Reto, E L, Europeo Del, and D E L O S Objetivos Del. 2005. "Energía Y Sostenibilidad: El Reto Europeo Del Logro De Los Objetivos De 2020," 127–39.
- S., Alvesm, J. Fernández-Agüera, and J.J. Sendra. 2014. "Infiltration Rate Performance of Buildings in the Historic Centre of Oporto." *Informes de La Construcción* 66 (535): 3–13. doi:10.3989/ic.13.009.

- Sánchez, Mónica López, Área De Industrias, Patrimonio De, and Fundación Ars. 2015. “Eficiencia Energética Y Edificación Histórica . Hacia La Ciudad Europea Del Futuro Desde La Ciudad Histórica” 2020: 222–29.
- Sanz Alduán, Alfonso. 2008. “Calmar El Tráfico : Pasos Para Una Nueva Cultura de La Movilidad Urbana / Alfonso Sanz Alduán.” Madrid : Ministerio de Fomento ,.
- Sendra, J. J., S. Domínguez-Amarillo, P. Bustamante, and a. L. León. 2014. “Intervención Energética En El Sector Residencial Del Sur de España: Retos Actuales.” *Informes de La Construcción* 65 (532): 457–64. doi:10.3989/ic.13.074.
- Xx, S, and La Pobra. 2013. “Mejora Energética de Vivienda Unifamiliar de Principio de.”
- “La Población de Córdoba.” 2006.
- “Desempleo de España 2016 | Datosmacro.com.” 2016. Accessed March 19. <http://www.datosmacro.com/paro/espana>.
- Guías 002 Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) Para La Rehabilitación de La Envolvente Térmica de Los Edificios.* n.d.
- “Europa 2020: Objetivos de Crecimiento Económico Para Toda La UE.” 2016. Accessed March 19. [http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_es.htm).
- “Movilidad Urbana / Por Alejandro Lorca ...[et Al.] ; Introducción Y Recopilación, Oficina de Información Urbanística.” 1971. Barcelona : Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares,.

## LISTADO DE CITAS

- [1] “Desempleo de España 2016 | datosmacro.com.” [Online]. Available: <http://www.datosmacro.com/paro/espana>. [Accessed: 19-Mar-2016].
- [2] E. L. Reto, E. Del, and D. E. L. O. S. O. Del, “Energía Y Sostenibilidad: El Reto Europeo Del Logro De Los Objetivos De 2020,” pp. 127–139, 2005.
- [3] T. Javier, C. Internacional, and L. A. C. Europea, “El libro verde de la comisión europea 46,” pp. 46–53.
- [4] “Europa 2020: objetivos de crecimiento económico para toda la UE.” [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_es.htm). [Accessed: 19-Mar-2016].
- [5] T. D. E. Es and S. D. E. En, “Ve ersión 30 d de abril de e 2014,” pp. 1–156, 2014.
- [6] M. Luisa, G. Jiménez, and Á. De Derecho, “Eficiencia energética y Edificación sostenible >,” pp. 34–35, 2007.
- [7] J. J. Sendra, S. Domínguez-Amarillo, P. Bustamante, and a. L. León, “Intervención energética en el sector residencial del sur de España: Retos actuales,” *Inf. la Construcción*, vol. 65, no. 532, pp. 457–464, 2014.
- [8] T. Blázquez, R. Suárez, and J. J. Sendra, “Towards a calibration of building energy models : A case study from the Spanish housing stock in the Mediterranean climate,” vol. 67, no. 540, 2015.
- [9] M. L. Sánchez, Á. De Industrias, P. De, and F. Ars, “Eficiencia energética y edificación histórica . Hacia la ciudad europea del futuro desde la ciudad histórica,” vol. 2020, pp. 222–229, 2015.
- [10] A. S., J. Fernández-Agüera, and J. J. Sendra, “Infiltration rate performance of buildings in the historic centre of Oporto,” *Inf. la construcción*, vol. 66, no. 535, pp. 3–13, 2014.
- [11] “La población de Córdoba,” 2006.

## **6. LISTADO DE FIGURAS**

Figura 1.1 Contribución del sector edificación y equipamiento al objetivo de ahorro de energía final del sistema de obligaciones de eficiencia energética. (Fuente: IDAE)

Figura 2.1 Imagen aérea de la manzana. (Fuente: Google Earth)

Figura 2.2 Temperaturas y lluvias recogidas en el año 2014 (Fuente: el tiempo.com)

Figura 2.3 Imagen fachada principal vivienda (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.4 Imagen fachada trasera (cochera) (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.5 Plantas de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.6 Sección longitudinal vivienda (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.7 Comparación características sistema SATE, fachada ventilado, inyección en cámara y trasdosado (Fuente: <http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/las-cinco-soluciones-rehabilitacion-termica-fachadas-edificios/>)

Figura 2.8 Descripción muro interior (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.9 Descripción muro exterior (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.10 Descripción muro medianero (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.11 Descripción muro cocina (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.12 Descripción tabiquería (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.13 Descripción forjado suelo (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.14 Descripción forjado primero (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.15 Descripción forjado segundo (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.16 Descripción cubierta empalomado (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.17 Descripción techo del patio (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.18 Descripción puerta madera (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.19 Descripción puerta metálica (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.20 Descripción ventana madera (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.21 Descripción ventana metálica (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.22 Descripción puente térmico: frente forjado (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.23 Descripción puente térmico: esquinas salientes (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.24 Descripción puente térmico: forjado en contacto con el aire (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.25 Descripción puente térmico: alféizar (Fuente: Elaboración propia)

Figura 2.26 Descripción puente térmico: dintel (Fuente: Elaboración propia)

- Figura 2.27 Descripción puente térmico: jamba (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.28 Descripción puente térmico: pilar (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.29 Descripción puente térmico: muro sin aislamiento (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.30 Descripción sistema mixto de calefacción y ACS (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.31 Descripción demanda (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.32 Descripción caldera (Fuente: Elaboración propia)
- Figura 2.33 Demanda anual de calefacción y refrigeración (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.33.1 Certificación energética del edificio (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.34 Demanda anual modelo 0 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.35 Certificación energética del modelo 0 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.35 Demanda anual modelo 1 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.36 Certificación energética del modelo 1 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.37 Demanda anual modelo 2 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.38 Certificación energética del modelo 2 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.39 Demanda anual modelo 3 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.40 Certificación energética del modelo 3 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.41 Demanda anual modelo 4 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.42 Certificación energética del modelo 4 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.43 Demanda anual modelo 5 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.44 Certificación energética del modelo 5 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.45 Demanda anual modelo 6 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.46 Certificación energética del modelo 6 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.47 Demanda anual modelo 7 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.48 Certificación energética del modelo 7 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.49 Demanda anual modelo 8 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.50 Certificación energética del modelo 8 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.51 Demanda anual modelo 9 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.52 Demanda anual modelo 10 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.53 Certificación energética del modelo 10 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.54 Demanda anual modelo 11 (Fuente: Elaboración propia.)
- Figura 2.55 Certificación energética del modelo 11 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.56 Demanda anual modelo 12 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.57 Certificación energética del modelo 12 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.58 Demanda anual modelo 13 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.59 Certificación energética del modelo 13 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.60 Demanda anual modelo 14 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.61 Certificación energética del modelo 14 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.62 Demanda anual modelo 15 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.63 Certificación energética del modelo 15 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.64 Demanda anual modelo 16 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.65 Certificación energética del modelo 16 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.66 Demanda anual modelo 17 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.67 Certificación energética del modelo 17 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.68 Demanda anual modelo 18 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.69 Certificación energética del modelo 18 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.70 Demanda anual modelo 19 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.71 Certificación energética del modelo 19 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.72 Demanda anual modelo 20 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.73 Certificación energética del modelo 20 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.74 Demanda anual modelo 21 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.75 Certificación energética del modelo 21 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.76 Demanda anual modelo 22 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.77 Certificación energética del modelo 22 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.78 Demanda anual modelo 23 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.79 Certificación energética del modelo 23 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.80 Demanda anual modelo 24 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.81 Certificación energética del modelo 24 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.82 Demanda anual modelo 25 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.83 Certificación energética del modelo 25 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.84 Demanda anual modelo 26 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.85 Certificación energética del modelo 26 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.86 Demanda anual modelo 27 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.87 Certificación energética del modelo 27 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.88 Demanda anual modelo 28 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.89 Certificación energética del modelo 28 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.90 Demanda anual modelo 29 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.91 Certificación energética del modelo 29 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.92 Demanda anual modelo 30 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.93 Certificación energética del modelo 30 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.94 Demanda anual modelo 31 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.95 Certificación energética del modelo 31 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.96 Demanda anual modelo 32 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.97 Certificación energética del modelo 32 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.98 Demanda anual modelo 33 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.99 Certificación energética del modelo 33 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.100 Demanda anual modelo 34 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.101 Certificación energética del modelo 34 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.102 Demanda anual modelo 35 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.103 Certificación energética del modelo 35 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.104 Demanda anual modelo 36 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.105 Certificación energética del modelo 36 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.106 Demanda anual modelo 37 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.107 Certificación energética del modelo 37 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.108 Demanda anual modelo 38 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.109 Certificación energética del modelo 38 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.110 Demanda anual modelo 39 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.111 Certificación energética del modelo 39 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.112 Demanda anual modelo 40 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.113 Certificación energética del modelo 40 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.114 Demanda anual modelo 41 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.115 Certificación energética del modelo 41 (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.116 Resultados modelos (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.117 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de calefacción de los modelos. (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.118 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de refrigeración de los modelos. (Fuente: Elaboración propia.)

Figura 2.119 Gráfico de comparación de resultados de la demanda de calefacción (columna derecha) y la demanda de refrigeración (columna izquierda) de: el modelo elegido, el edificio referencia y el modelo real. (Fuente: Elaboración propia.)