

ANÁLISIS COMPARATIVO DE  
DIFERENTES SISTEMAS PARA  
MEJORAR LA EFICIENCIA  
ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE  
TÉRMICA DE EDIFICIOS  
EXISTENTES.

Pablo Caballero San Segundo

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID









## INDICE

<b>1. Justificación y objetivos del trabajo</b> .....	<b>3</b>
1.1. Justificación.....	3
1.2. Objetivo.....	6
<b>2. Introducción</b> .....	<b>7</b>
2.1. Análisis general .....	7
2.1. Estado actual y problemática.....	7
2.2. Consumo energético en la edificación.....	9
2.3. Carga térmica, demanda, consumo, eficiencia y certificación energética en la edificación .....	11
2.3.1. Carga térmica.....	11
2.3.2. Demanda energética .....	12
2.3.3. Consumo energético .....	12
2.3.4. Eficiencia energética.....	13
2.3.5. Calificación energética .....	13
2.4. Situación actual y tendencias en Europa y España.....	14
2.4.1. Dinamarca.....	16
2.4.2. Francia .....	17
2.4.3. Bélgica .....	18
2.4.4. Reino Unido.....	19
2.5. Programas de calculo.....	20
2.5.1. LIDER .....	20
2.5.2. CALENER.....	21
2.5.3. CERMA .....	21
2.5.4. CE3 .....	22
2.5.5. CE <sup>3</sup> X.....	23
<b>3. Normativa</b> .....	<b>25</b>
<b>4. Definición del edificio</b> .....	<b>27</b>
4.1. Situación.....	27
4.2. Orientación .....	28
4.3. Edificio base.....	28
4.3.1. Suelo .....	29
4.3.2. Fachadas .....	30
4.3.3. Huecos .....	31
4.3.4. Medianerías .....	32



4.3.5. Cubierta .....	32
4.3.6. Sombras .....	32
4.3.7. Puentes térmicos .....	33
4.3.8. Instalación de calefacción.....	34
4.3.9. Instalación de ACS .....	35
4.3.10. Instalación de refrigeración .....	35
4.4. Sistemas de aislamiento.....	35
4.4.1. Cubierta .....	36
4.4.2. Suelo .....	37
4.4.3. Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) .....	37
4.4.4. Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior Ventilado (SATEV).....	38
4.4.5. Sistemas de Aislamiento Térmico Interior (SATI).....	40
4.4.6. Resumen de las características térmicas de los cerramientos .....	42
<b>5. Resultados.....</b>	<b>43</b>
<b>6. Interpretación de los resultados .....</b>	<b>53</b>
6.1. Análisis energético .....	55
6.1.1. Demanda de calefacción.....	55
6.1.2. Demanda de refrigeración .....	56
6.1.3. Demanda combinada (Refrigeración y Calefacción).....	58
6.2. Análisis económico .....	59
6.2.1. Media de las diferentes zonas climáticas.....	65
6.2.2. Zona climática A3 (Cádiz) .....	67
6.2.3. Zona climática B3 (Valencia).....	68
6.2.4. Zona climática C2 (Barcelona).....	70
6.2.5. Zona climática D3 (Madrid).....	71
6.2.6. Zona climática E1 (Burgos).....	73
<b>7. Resultados de la versión 2.1 de CE<sup>3</sup>X .....</b>	<b>75</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>81</b>
<b>9. Acerca de este trabajo fin de máster .....</b>	<b>85</b>
9.1. Bibliografía.....	85
9.2. Autoría.....	89

# 1. Justificación y objetivos del trabajo

## 1.1. Justificación

En España, el consumo de energía en el sector residencial, ocupa una gran importancia en el consumo global del país alcanzando hasta un 17,0 %, situándose como tercer mayor consumo tras el transporte y la industria.

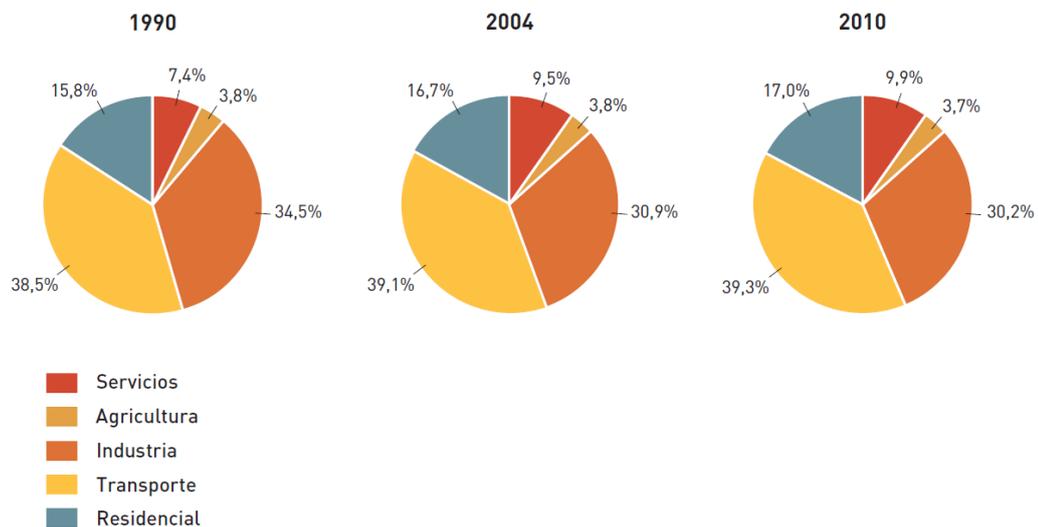


Figura 1. 1. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final. Fuente: IDAE

El gran impacto en el consumo energético total a nivel nacional del sector residencial es el que nos motiva a investigar e intentar sacar conclusiones que favorezcan nuestros niveles no sólo en consumo de energía, sino también en emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub>.

Los factores climáticos condicionan el consumo de los hogares en parte, pero además, hay que tener en cuenta el desarrollo más tardío que se ha producido en España respecto a la mayoría de países de Europa occidental. Por ello, en el último cuarto de siglo y en las perspectivas de las tendencias hay un crecimiento significativo del consumo en este sector.

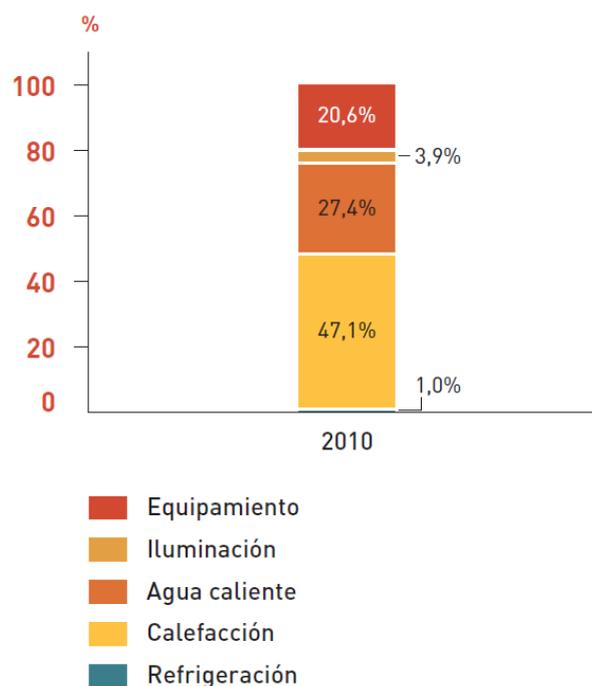
La tendencia creciente del consumo se debe a la mejora del nivel de vida, con el aumento de los equipamientos y la demanda de mayores niveles de confort, pero también en el mayor número de edificaciones debido a la reducción del número de miembros por hogar. Sin embargo, esta reducción no lleva asociada la equivalente reducción del consumo medio de energía por edificación.

Por tanto, los consumos de energía en edificios residenciales dependen del clima, de las características de los edificios y del rendimiento de las instalaciones térmicas, de iluminación y de ventilación con las que cuentan.

Las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética se basan tanto en la mejora del equipamiento con el que cuentan como en las mejoras en la edificación. Las mejoras en la edificación pueden clasificarse en tres grandes grupos: mejoras en la envolvente del edificio, del rendimiento de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado y del rendimiento de los equipos de iluminación.

En los edificios conviene integrar los aspectos energéticos y medioambientales durante su diseño y construcción, ya que ello condicionará el consumo energético durante muchas décadas. Sin embargo, la larga vida útil de los edificios se identifica, a menudo, como una barrera para la rápida penetración de medidas de eficiencia energética y la realización del potencial de ahorro en el sector. El establecimiento de requisitos mínimos de eficiencia energética en edificios nuevos (o en existentes cuando sean objeto de reformas importantes) afecta a un reducido porcentaje del parque de viviendas y edificios, por lo que se traduce en unos ahorros de energía relativamente reducidos en relación con el total de los consumos del sector. No obstante, la aplicación del nuevo Código Técnico de la Edificación, del nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y de la Certificación Energética de Edificios permitirá ahorros significativos.

Tomando como ejemplo el sector doméstico únicamente, la distribución del consumo de energía en las viviendas españolas se muestra en la siguiente figura:



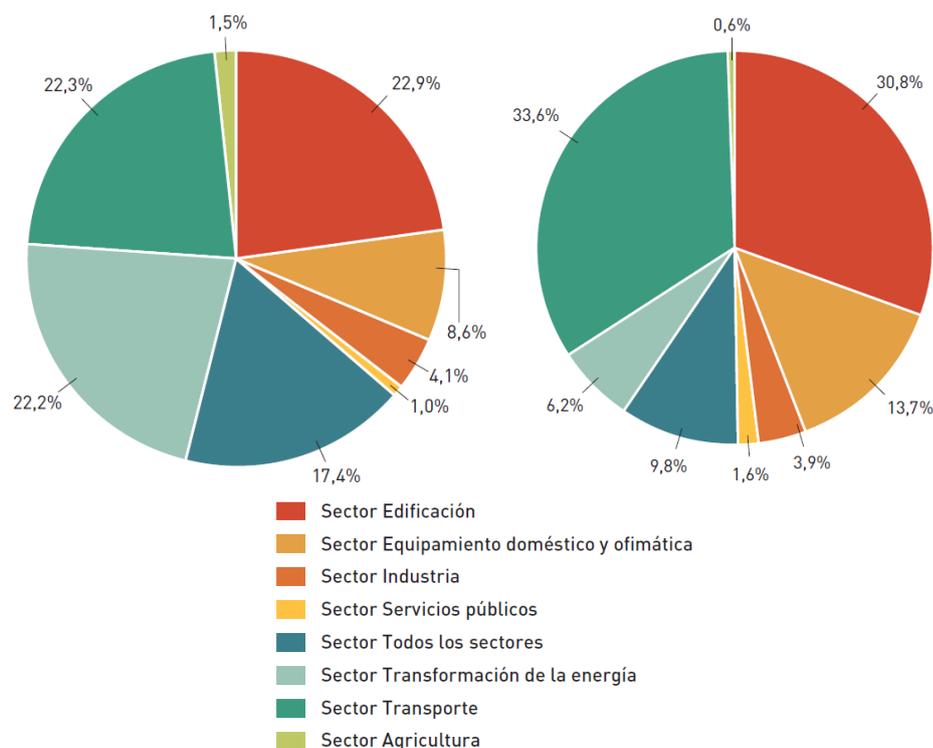
**Figura 1. 2. Distribución del consumo de energía final en el sector Edificios doméstico en España. Fuente: IDAE**

Como se observa, la calefacción es el uso que absorbe un mayor porcentaje de los consumos de energía de una vivienda, con un 47,1%, por lo que lograr ahorros en este aspecto es importante de cara a lograr los objetivos de reducción del consumo energético y de emisiones de CO<sub>2</sub> marcados por Europa.

Además, el potencial no es solo de reducción de consumos y emisiones sino que la eficiencia energética constituye una pieza clave para el desarrollo presente y futuro de la economía española. Además de los ahorros energéticos (y en consecuencia económicos) que se consiguen, se producen impactos socioeconómicos positivos relevantes al generarse actividades económicas nuevas que tienen su reflejo en incrementos del PIB y del empleo a nivel nacional.

La cuantificación del impacto socioeconómico del Plan de acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) en el horizonte 2020 se realiza sobre las variables económicas de producción, valor añadido bruto (VAB) y empleo. La diferencia entre el valor del producto final y el valor de los consumos intermedios es lo que se entiende por VAB, el valor que añade la empresa o sector a los consumos intermedios que compra.

A continuación, se presentan los resultados del impacto socioeconómico del sector de la eficiencia energética en el año base de referencia (año 2009).



**Figura 1. 3. Distribución por sectores PAEE de la magnitud (efecto directo) del sector de la eficiencia energética en términos de VAB (izq.) y de empleo (Dcha.) en España, 2009. Fuente: IDAE**



## 1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo será el de comparar las demandas de calefacción y refrigeración en kWh por metro cuadrado en nuestro edificio base con respecto a las que tendría el mismo edificio si mejoramos la envolvente térmica del mismo mediante diferentes sistemas y en todas las variaciones realizadas.

La comparación de las demandas de calefacción y demandas de refrigeración se llevará a cabo en base a los porcentajes de reducción de la demanda base mediante cada uno de los sistemas de mejora de la envolvente térmica elegidos considerando además otro factor como es el aislamiento o la conservación de las características iniciales de la cubierta.

Se analizará cuál o cuáles de nuestros sistemas son más eficientes en términos de energía pero también económicos.

El programa principal que utilizaremos en el estudio será el simulador CE<sup>3</sup>X, un programa actual, que recoge la normativa adecuada para el estudio de cualquier tipo de edificación, tanto de vivienda unifamiliar, como pequeños y grandes terciarios, un programa de uso intuitivo muy completo en muchos ámbitos, como pueden ser el perfil de uso, la envolvente térmica del edificio y las instalaciones (ACS, calefacción, refrigeración, iluminación, aire primario) o el uso de energías renovables.



## 2. Introducción

### 2.1. Análisis general

Este trabajo se basa en la comparación de las demandas energéticas de un edificio base y ese mismo edificio mejorando su envolvente térmica por diferentes sistemas.

Se explicará la problemática energética y medioambiental en la sociedad, demandando las consecuencias negativas del incremento de la demanda energética. Se explicarán conceptos de demanda, carga térmica, consumo, eficiencia energética y certificación.

Se hablará de la certificación energética en España y en el resto de Europa y se expondrán los principales métodos de cálculo en la certificación energética.

Se expondrán los principales puntos de la normativa vigente para edificaciones del Real Decreto 235/2013, de 5 de abril.

Se describirá tanto el edificio base sobre el que el trabajo está basado, con todos sus elementos tanto internos como externos, las variaciones aplicadas sobre él para el estudio, como su ubicación y situación, ya que la zona climática también interpreta un papel importante en los resultados obtenidos.

Se hará un análisis de los resultados obtenidos en todos los casos que se nos presentan y se interpretarán los resultados para clarificar la influencia de los diferentes factores estudiados.

En la interpretación de los resultados se hará una recopilación de los mismos, resaltando los resultados más significativos, y se aportarán nuevas reflexiones sobre el estudio hecho.

Finalmente se expondrán las conclusiones del análisis y todos los artículos utilizados para la redacción y ejecución de este trabajo.

### 2.1. Estado actual y problemática

La sociedad actual requiere para mantener su nivel de vida y de confort de la energía ya que vivimos en una sociedad de consumo, que utiliza sus recursos para su mejor confort. El reto es buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético.



Hoy en día los países más desarrollados del mundo son los que más energía consumen, pero también son los que la consumen de manera más eficiente. Pero el mundo está cambiando a mayor velocidad que nunca y los países menos desarrollados aumentan sus consumos rápidamente y normalmente esto no va de la mano con una mejora de la eficiencia y mientras que los avances en ciencia y tecnología han mejorado nuestra calidad de vida, también han puesto de manifiesto el frágil equilibrio del medio ambiente. El calentamiento global de la Tierra ya no es un concepto lejano, sino una amenaza real en el futuro de la humanidad.

La energía siempre ha desempeñado un rol importante en el desarrollo humano y económico y en el bienestar de las sociedades. Sin embargo, ni el petróleo ni ninguno de los otros combustibles fósiles, como el carbón mineral y el gas natural, son recursos ilimitados. El efecto combinado de la demanda creciente y los recursos que se agotan exige controlar de cerca la situación energética. Otras razones de necesitar un conocimiento profundo de la oferta y demanda de la energía son la dependencia, seguridad y eficiencia energéticas, así como los aspectos ambientales.

El crecimiento económico, los procesos de industrialización de los países en desarrollo y el incremento de la cobertura de fuentes comerciales de energía en los países de bajo ingreso, hacen que la demanda mundial de energía aumente cada año.

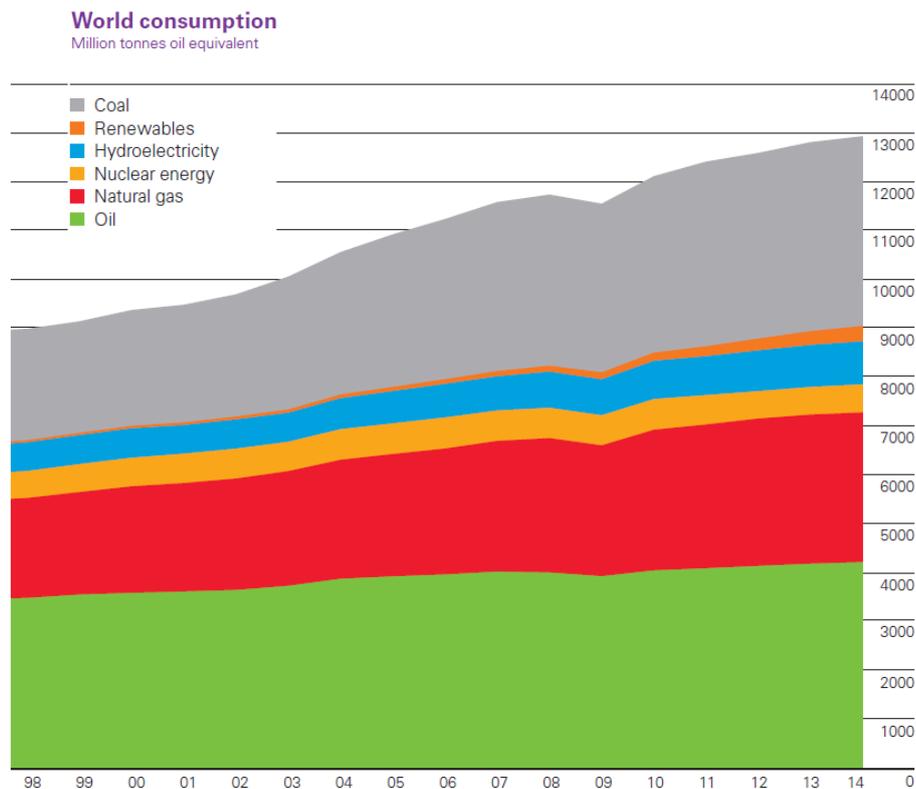


Figura 2. 1. Evolución del consumo energético mundial.

Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2015



El consumo de energía en todo el mundo depende actualmente de fuentes o recursos que en su mayor parte tienen un carácter limitado, calculándose que el conjunto de las reservas mundiales de petróleo, gas y otros combustibles sólidos tienen una duración de unos 52,5, 54,1 y 110 años respectivamente, al ritmo actual de crecimiento del consumo (Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2015).

El problema del agotamiento de los recursos naturales se valora junto al del aumento de los niveles de consumo de energía de los países en desarrollo, teniendo en cuenta el crecimiento esperado de la población mundial y su consiguiente impacto ambiental, ya que el modelo actual de desarrollo que predomina en nuestra sociedad de crecimiento continuo, basado en el consumo de la energía, no se puede mantener indefinidamente. El agotamiento progresivo de los combustibles fósiles, la concentración de las reservas fósiles en áreas geográficas políticamente inestables, la falta de alternativas a corto plazo, el fuerte crecimiento de las emisiones de gases efecto invernadero y un incremento de los precios internacionales de los combustibles fósiles y de su volatilidad, obligan a hacer un cambio de estrategia hacia un nuevo modelo basado en el desarrollo mundial sostenible. Y no solo hablamos de sostenibilidad, hablamos de calidad de vida puesto que las consecuencias del consumo de energía son muy negativas para la conservación del medioambiente, del que, no lo olvidemos, dependemos para subsistir, no solo por el calentamiento global sino por los problemas que se derivan de los gases de efecto invernadero (concentraciones peligrosas de tóxicos en el aire, lluvia ácida, etc.), y como el desarrollo técnico no ha sido capaz de encontrar soluciones suficientemente satisfactorias a estos problemas la única solución es reducir el consumo de energía.

## 2.2. Consumo energético en la edificación

El 40% de la energía primaria que se consume en Europa es utilizada para cubrir las demandas eléctricas y de calefacción de los edificios (en España la cifra es del 30 %), de la cual el 85% corresponde a la energía destinada a satisfacer las necesidades de calefacción de los edificios y el agua caliente sanitaria. Por lo tanto es importante para los diferentes países europeos, incluida España, reducir sus necesidades y sus consumos finales de energía dentro de cada territorio.

Por lo tanto vemos como el sector de la edificación tiene influencia significativa en el medio ambiente global y tiene que jugar un papel positivo en la seguridad y bienestar de sus habitantes.

Una de las medidas para limitar el consumo de energía, tanto en industria como en edificación es la “eficiencia energética”, bien porque la energía empieza a ser un bien escaso o por reducir los efectos negativos derivados de su consumo. La actual construcción sostenible tiene esto como objetivo, reducir las consecuencias que tiene para el medio ambiente un edificio a lo largo de toda su vida, optimizando su viabilidad económica, el confort y seguridad de sus inquilinos pero teniendo en cuenta que la mayoría de los edificios existentes se construyeron antes de 1980 y no disponían de aislante la rehabilitación energética de los mismos tiene un papel fundamental en la reducción de los consumos en el sector. Por todo ello probablemente la eficiencia energética será el tema que más influirá en los cambios económicos y sociales del presente siglo.

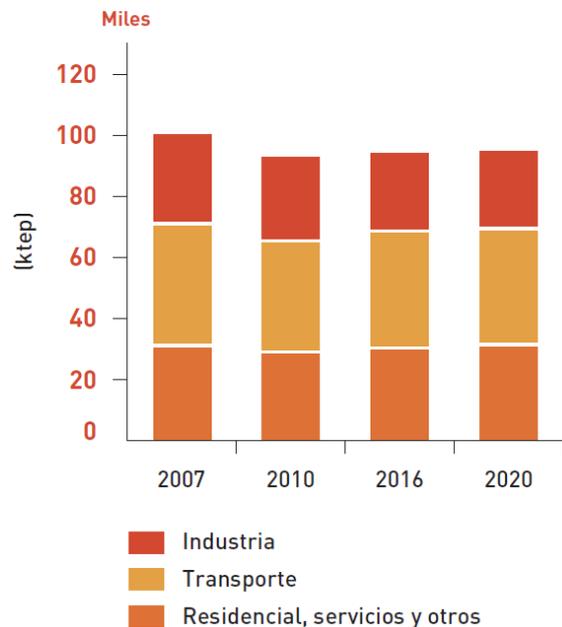


Figura 2. 2. Consumos de energía final por sectores en España (ktep).

Fuente: IDAE

La mayoría de los países preocupados por el ahorro de la energía han comenzado sus actuaciones sobre el sector de la industria, que suele representar el mayor porcentaje del consumo total de energía.

El sector industrial tiene la ventaja de que dicho consumo se concentra en pocas unidades empresariales en las que el proceso de innovación tecnológica y de sustitución de equipos forma parte de la actividad cotidiana.

Otros sectores como el transporte y el de edificios y viviendas presentan, sin embargo, la enorme complejidad de que el consumo de energía se lleva a cabo en infinidad de centros dispersos sobre los que resulta muy difícil incluso acceder por la vía de las reglamentaciones legales.



## 2.3. Carga térmica, demanda, consumo, eficiencia y certificación energética en la edificación

La reducción del consumo de energía es un objetivo prioritario en todos los países, tanto con la finalidad de obtener un adecuado ahorro energético como para conseguir una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. A los efectos de conocer el comportamiento de la evolución del consumo es necesario prestar atención a la ecuación que relaciona éste, con la demanda y el rendimiento.

### 2.3.1. Carga térmica

Podemos entender por carga térmica, toda perturbación capaz de alterar el contenido de energía de los espacios que se pretende climatizar. Esa alteración o carga es la que tendrá que compensar la instalación de climatización, mediante su potencia, para mantener las condiciones de confort. Si la perturbación modifica la temperatura, estamos en presencia de lo que llamamos carga sensible; si altera el contenido del vapor de agua del espacio la llamaremos carga latente. Se denomina curva de carga a la representación de la función de la potencia que es necesaria para mantener a lo largo del tiempo las condiciones de confort, compensando las alteraciones de las cargas.

Las cargas debidas a las condiciones climatológicas del espacio externo pueden tener una diferente forma de manifestarse en el local sobre el que actúan. Existe la denominada fracción convectiva, que es la que se transmite de modo instantáneo al aire del recinto mediante transferencia convectiva, y la fracción radiante por la cual la energía que incide sobre los cerramientos exteriores produce un aumento de temperatura de los mismos que posteriormente producirá un aporte de carga al interior. La transferencia de esta fracción radiante se produce con un cierto retraso y con menor valor que la energía radiante incidente, produciéndose los efectos conocidos de retraso y amortiguación, que hay que tener en cuenta a la hora del cálculo de cargas térmicas.



### 2.3.2. Demanda energética

La demanda energética es la energía necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar. Por lo tanto, la demanda energética de un edificio está referida a un determinado espacio de tiempo. En ese espacio la energía demandada será evidentemente el producto de la potencia calorífica que necesitamos para mantener las condiciones de confort, por el tiempo transcurrido en la utilización de tal potencia. Como esta, es variable en función del tiempo, expresaremos su valor por la integral de la potencia en el intervalo de espacio en el que queremos medir la demanda.

Por lo tanto, los factores que determinan la demanda energética son:

- El clima exterior, que dependerá de la localidad geográfica donde se encuentre el edificio.
- Los cerramientos, ya que de estos dependen los coeficientes de transferencia.
- Las características de ocupación y funcionales del edificio.

Entonces no se nos debe olvidar que la demanda no depende de la instalación sino que solo depende de los factores mencionados anteriormente.

### 2.3.3. Consumo energético

El consumo energético de un edificio lo podemos expresar como el cociente entre la demanda energética del servicio y el rendimiento medio estacional de la instalación en cuestión, ya que, al estar la demanda referida, como se ha indicado anteriormente, a un espacio de tiempo determinado debemos hablar por tanto de un rendimiento medio en dicho periodo de tiempo. Entonces, se pone de manifiesto que para reducir el consumo se pueden realizar varias acciones:

- Reducir la demanda.
- Aumentar el rendimiento medio estacional.
- Combinar las dos opciones anteriores.



### 2.3.4. Eficiencia energética

La eficiencia es un concepto relativo. Un edificio es más eficiente energéticamente que otro, si para alcanzar un mismo grado de confort, consume menos energía primaria exterior. El concepto de "energía primaria exterior" se justifica por el hecho de que el propio edificio puede producir por sí mismo energía, proveyéndose de fuentes renovables y mejorando, por tanto, su eficiencia.

Es decir, que la eficiencia energética de un edificio determinado vendrá influida por tres principales factores:

- Las soluciones arquitectónicas pasivas de diseño del edificio (orientación, distribución, etc.).
- El rendimiento de los equipos energéticos del edificio (calderas, bombas de calor, etc.).
- El aprovechamiento de los recursos naturales renovables que pueda incorporar el edificio (energía solar fotovoltaica y térmica, eólica, geotérmica, etc.).
- El coste energético de la construcción y el posible reaprovechamiento tras la vida útil del edificio.

### 2.3.5. Calificación energética

Se define calificación energética como la comparación del consumo de energía de un edificio, que se estima necesario para satisfacer la demanda energética que tiene asociada en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, con un consumo de referencia.

En España, actualmente la calificación energética de los edificios está basada en las emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que uno de los principales objetivos de la certificación energética será sobre todo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este sistema de calificación puede por tanto inducir a errores ya que una mejor calificación energética no implica un menor consumo de energía sino que la energía consumida procede de fuentes menos contaminantes. Por lo tanto en el presente trabajo nos vamos a centrar en el consumo energético y no en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la hora de analizar los resultados.



## 2.4. Situación actual y tendencias en Europa y España

Actualmente existe un fuerte compromiso por parte de la UE en mejorar la eficiencia energética de los países miembros con el objetivo de ahorrar un 20% de la energía consumida para el año 2020. Esta intención está cogiendo fuerza desde 2007 en forma de directivas CE que se están armonizando en el estado español a través del Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables del 28 de abril de 2011.

No debe extrañar este fuerte interés por parte de la UE en la eficiencia energética. El consumo medio en calefacción de las viviendas en la UE es muy elevado (180 kWh/m<sup>2</sup> por año) debido a la falta de implementación de medidas que mejoren su eficiencia energética.

En España el incentivo para la eficiencia energética en la edificación se basa en los aspectos reguladores que emanan de la Directiva 2002/91/CE. Independientemente de la evolución de los precios de la energía, la tendencia reguladora de futuro en Europa es muy exigente. A raíz de la revisión de la Directiva 2002/91/CE, los edificios nuevos a partir del 01/01/2019 deberán ser de CERO EMISIONES de gases nocivos, entre ellos el CO<sub>2</sub>. Deberán generar energía renovable de tal manera que compensen la energía consumida. Esta Directiva trata exclusivamente de la eficiencia energética de los edificios, y pretende ser un avance y concreción de las líneas de acción indicadas en la Directiva 93/76/CEE relativas al sector de la edificación, con el fin de aprovechar el gran potencial de ahorro aún existente, y reducir las grandes diferencias existentes en este sector entre los estados miembros.

La definición que hace la Directiva de la "eficiencia energética" de un edificio, es la siguiente: 'Cantidad de energía consumida para satisfacer las necesidades asociadas a un uso estándar del edificio'

Con esta definición, queda claro que el único indicador de esta 'eficiencia' es el consumo energético (en kWh/año) del edificio.

Como resumen, existen varias directivas de la UE que son de especial importancia para el sector edificación:

- Promoción del uso de energía de fuentes renovables (Renewable Energy Sources - RES), Directiva 2009/28/CE. Con la directiva RES debe aumentarse sustancialmente el porcentaje de energía renovable en la UE. Los estados miembros se comprometen a tomar medidas con las que se aumente el porcentaje de energías



renovables en la UE en al menos un 20 % hasta 2020. En el marco del llamado "Burdensharing", a cada Estado miembro se le imponen normas en particular.

- Diseño ecológico de productos que utilizan energía (Energy using Products - EuP), 2005/32/CEE. La directiva EuP determina los requisitos mínimos en relación a las propiedades ecológicas de los productos que consumen energía. En esta directiva se comprenden, por ejemplo, calderas, calentadores de agua, bombas, ventiladores y equipos de climatización y ventilación de viviendas. A los productos afectados les coloca una etiqueta de eficiencia energética
- Eficiencia energética total de los edificios (Energy Performance of Buildings - EPBD), 2002/91/CEE. La directiva sobre eficiencia energética total de edificios sienta un marco europeo general para la determinación de estándares energéticos mínimos en los edificios de los países miembros. Los estándares mínimos y los métodos de cálculo son determinados individualmente por los países miembros.

Además, la directiva obliga a los estados miembros a tomar medidas para la ejecución de inspecciones regulares de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado. Los propietarios de viviendas y los inquilinos, además del llamado carnet energético, deben recibir información sobre el estándar energético de los edificios recién construidos, vendidos o recién alquilados.

- Directiva 2010/31/CE: Adoptada por el Parlamento Europeo el 19 de Mayo de 2010. Endurecimiento de los requisitos de eficiencia energética en los edificios.
  - o Los requisitos que se fijen para los edificios deberán de ser calculados de forma que presenten un coste óptimo teniendo en cuenta todos los costes existentes a lo largo de la vida del edificio (energía, mantenimiento, etc.)
  - o Promoción el uso de sistemas de alta eficiencia (generación de energía descentralizada, cogeneración, redes urbanas de frío y calor, bombas de calor, monitorizado y control, etc.)
  - o Todos los edificios públicos construidos en Europa deben de ser "Edificio de consumo de energía casi nulo" a partir del 31 de diciembre de 2018. Para los edificios de titularidad privada, la fecha límite es el 31 de diciembre de 2020.
  - o Los Estados Miembros deberán de presentar planes para la promoción de este tipo de edificios.
  - o Los edificios existentes son el gran núcleo consumidor de energía en el sector edificación. La Directiva indica que podrán establecerse requisitos a los mismos cuando se rehabiliten. Además, los edificios rehabilitados deberán de cumplir los requisitos para nuevos edificios cuando sufran una reforma



importante (reforma con un presupuesto superior al 25% del valor del edificio, sin contar valor del terreno sobre el que está construido o reforma en la que se renueva más del 25% de los elementos de la envolvente del edificio).

- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. En la que se tratan temas referentes a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia energética y contabilización de consumos energéticos

En este apartado daremos una visión global de la situación del certificado energético en los países de la unión europea. A continuación pasamos a describir las particularidades de algunos de los países de la UE.

### 2.4.1. Dinamarca

Este país posee el Acta de calificación Energética de Edificios, que lleva en vigor desde 1997. Es de obligado cumplimiento en todos los edificios no industriales, viviendas y de servicios, de nueva construcción o antiguos de menos de 1500 m<sup>2</sup>, excluyendo edificios de muy bajo consumo energético o destinados a la producción.

El proceso de certificación se basa en una auditoría energética realizada sobre el edificio por personal especializado (generalmente arquitectos o ingenieros) antes de su venta. Para poder realizar este tipo de inspecciones, el certificador tiene que contar con cinco años de experiencia en el sector de la edificación y el ahorro energético. La información que se extrae de la auditoria se divide en tres secciones:

- Una calificación energética, cuya escala de valores va desde A1 a C5, siendo A1 el escalón de máxima eficiencia. Además de incluir información sobre el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, también se proporciona información sobre el consumo de agua del edificio, y estima el consumo energético a largo plazo (25 años).
- Un plan energético con propuestas para el ahorro de energía y agua en el edificio. Incluye además información sobre la cuantía de inversiones a realizar, ahorro conseguido y tiempo de vida para cada propuesta.



## ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES SISTEMAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICIOS EXISTENTES.



- Estado actual del edificio, incluyendo el sistema de calefacción, uso de la energía por parte del propietario, tamaño del edificio, precio de la energía,... para justificar la calefacción y el plan energético.

En la siguiente figura puede verse un impreso de los que se utilizan para la realizar la calificación energética de un edificio.

Energimerke til små ejendomme

Energimerke nr.: E 06-02227-0137      Energimerket er gyldigt i 3 år fra: 13. juni 2006  
Ejendommen BBR nr.: 153 055580 001      Byggeår: 1978      Anvendelse: Rækkehus  
Ejendommens adresse: Holstedparken 3, 2660 Brøndby Strand

**Forudsætninger for beregning af Energimerket**  
Samlet opvarmet areal: 119 m<sup>2</sup>, heraf 0 m<sup>2</sup> opvarmet kælder og 52 m<sup>2</sup> udnyttet tagetage.  
Husstandens størrelse: 2 - 3 personer.  
Hvis husstandens best. af flere personer, kan det beregnede forbrug omregnes ved hjælp af beregningsreglen haget i Energiplan og dokumentation

**Samlet vurdering af ejendommens energimæssige tilstand**

<b>Varme</b> Isolering og varmeisoleringsforhold, herunder ydervægge, vinduer, tag, loft, gulv, varmekilde, anlæg, varmerør og ventilation.	<b>EI</b> Elektriske apparater
<b>Vurdering</b>	<b>Vurdering</b>
A: Lavt varmesforbrug	A: Lavt elforbrug
B: Middelt varmesforbrug	B: Middelt elforbrug
C: Højt varmesforbrug	C: Højt elforbrug
<b>B1</b>	<b>B</b>
Opvarmingsform: Fjernvarme, Brændst. MW's	Beregnet forbrug pr. år: 4.015 kWh
Beregnet forbrug pr. år: 14 MWh	Beregnet udgift pr. år: 7.457 kr.
Beregnet udgift pr. år: 8.180 kr.	
<b>Miljøbelastning</b>	<b>Drivhus miljøbelastning er:</b>
Ejendommens beregnede forbrug af varme og el giver en årlig miljøbelastning på 0,8 ton CO <sub>2</sub>	A: Lav    B: Middelt    C: Høj
<b>Konklusion</b>	
Energimerket for bygningen er beregnet til B1. Det betyder at varmesforbruget i boligen er mindre end det gennemsnitlige varmesforbrug pr. m <sup>2</sup> for danske huse. Tilsvarende bygninger af samme type og alder har i gennemsnit et større varmesforbrug end den gennemsnitlige energimerke B1-B2. Det gennemsnitlige energimerke for danske huse er B3 og en nybyet bygning skal mindst være A3. Udover et højt indhold af varmeenergi er relativt nye og moderne el-forbrug. Vandskylende installationer er af varmeskylende karakter og der er mulighed for nedbringelse af varmesforbrug. CO <sub>2</sub> -afledningsbestemmelse af miljøet er under omgen.	

Udarbejdet af energikonulent nr.: 02227    Navn: Karsten Vogel Larsen  
Firma: OBH Ingeniørservice A/S, Ragnvænget 30 2630 Taastrup  
Tlf nr.: 70217262    Fax nr.: 70217263  
E-mail: tastrup@obh-gruppen.dk

Dato/Underskrift

Energiplan & dokumentation

Energimerke nr.: E 06-02227-0137      Energimerket er gyldigt i 3 år fra: 13. juni 2006  
Ejendommen BBR nr.: 153 055580 001      Byggeår: 1978      Anvendelse: Rækkehus  
Ejendommens adresse: Holstedparken 3, 2660 Brøndby Strand

**Energikonulenten har beregnet ejendommens samlede årlige udgifter til varme, el og vand incl. faste faste afgifter og moms til 20.990 kr.**  
**Energikonulenten foreslår til forbedringer vil kunne reducere udgifterne til varme, el og vand**

<b>Varme</b>	Forslag til forbedringer forventes at koste 0 kr.
Beregnet besparelse pr. år	0 kr.
<b>EI</b>	Forslag til forbedringer forventes at koste 0 kr.
Beregnet besparelse pr. år	0 kr.
<b>Vand</b>	Forslag til forbedringer forventes at koste 0 kr.
Beregnet besparelse pr. år	0 kr.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Hvis de anbefalede forbedringer af varmeisoleringsforhold og elektriske apparater gennemføres, vil den samlede årlige miljøbelastning reduceres med 0,00 ton CO <sub>2</sub>
<b>Energikonulenten samlede anbefaling:</b>	Der kan ikke anvendes rentable besparelsesforslag.
Energiplan & dokumentation består af i alt: 5 sider og 2 bilag	

Udarbejdet af energikonulent nr.: 02227    Navn: Karsten Vogel Larsen  
Firma: OBH Ingeniørservice A/S, Ragnvænget 30 2630 Taastrup  
Tlf nr.: 70217262    Fax nr.: 70217263  
E-mail: tastrup@obh-gruppen.dk

Dato/Underskrift

Figura 2. 3. Modelo para la certificación energética en Dinamarca.

Fuente: <http://www.robinhus.dk>

### 2.4.2. Francia

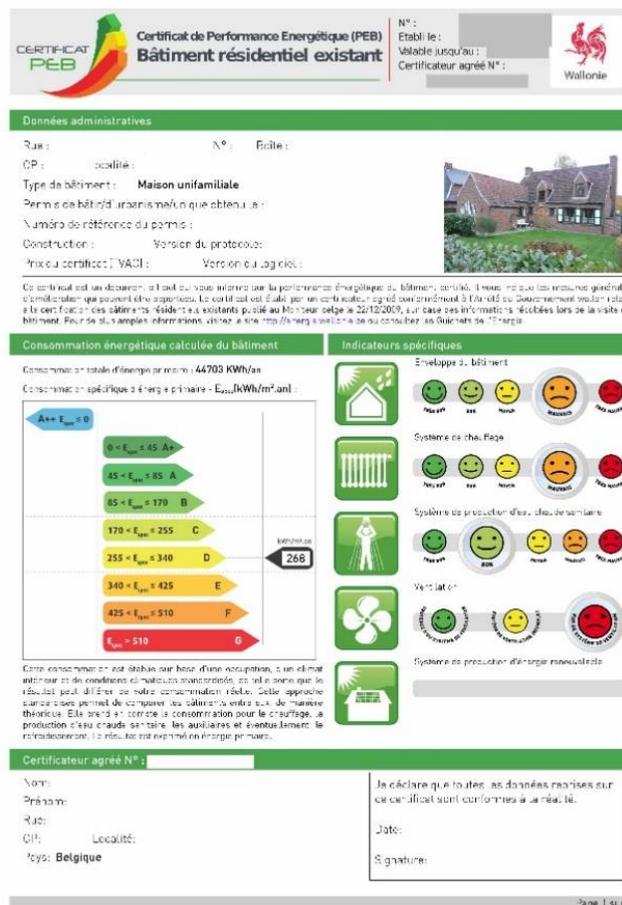
La normativa francesa que regula la certificación energética de edificios es el Decreto nº 2000-1153 del Ministerio de Vivienda y Transportes del 29 de Noviembre de 2000. Es de obligado cumplimiento en edificios no industriales de nueva construcción. Los edificios con permiso de construcción posterior al 1 de junio de 2001 han de tener un consumo de energía para calefacción, ACS, ventilación, climatización y, en algunos casos, iluminación, menor que un cierto consumo de referencia. Establece valores límites de: Aislamiento térmico en cerramientos y huecos, niveles de humedad en el aire, regulación de la calefacción y el enfriamiento en el acumulador de ACS. Estos valores límite varían con la zona del país. No se tienen en cuenta, sin embargo, la orientación de los cerramientos y huecos ni el factor de forma del edificio.

Para esta calificación se proponen dos métodos de cálculo: uno complejo, destinado a técnicos especialistas en edificios y otro simplificado, para profesionales no expertos en temas térmicos, que sólo tiene validez para edificios de menos de 220 m<sup>2</sup>, no climatizados, aislamiento únicamente interior y cuyos materiales reúnan una serie de características.

### 2.4.3. Bélgica

Se emplea la certificación PEB (Performance Energétique des Bâtiments) y al igual que en España es obligatorio para el alquiler y la venta de viviendas.

Para la calificación se analizan varios aspectos como son la envolvente del edificio, el consumo de energía para calefacción, el consumo de energía para ACS y el consumo de energía para ventilación, también tiene en cuenta si se utilizan energías renovables o no.



**Figura 2. 4. Modelo para la certificación energética en Bélgica.**

Fuente: <http://www.energie-conseil.be/>

## 2.4.4. Reino Unido

El reglamento que define la calificación energética en este estado es el S.A.P. (Standard Assessment Procedure), que está en vigor desde 1995. Afecta a viviendas y es obligatorio para las de nueva construcción. Se basa en el coste anual de la energía para calefacción y agua caliente sanitaria por metro cuadrado de superficie. Se tienen en cuenta factores como aislamiento térmico de la envolvente del edificio, regulación y eficiencia del sistema de calefacción, producción de ACS, ganancia solar del edificio y tipo de combustible empleado para la calefacción y ACS.

Con la información obtenida del edificio, se rellenan las casillas de un programa informático que automáticamente nos indica la calificación, llamada SAP, que va de 1 a 100. La escala que emplea no es lineal, sino logarítmica. Se considera que un edificio es de alta calidad cuando supera la calificación de 80.

El SAP no tiene en cuenta la localización geográfica del edificio, y por tanto la climatología propia del lugar, y no valora consumos como el de iluminación y electrodomésticos. Tampoco realiza recomendaciones ni propone alternativas de uso energético.

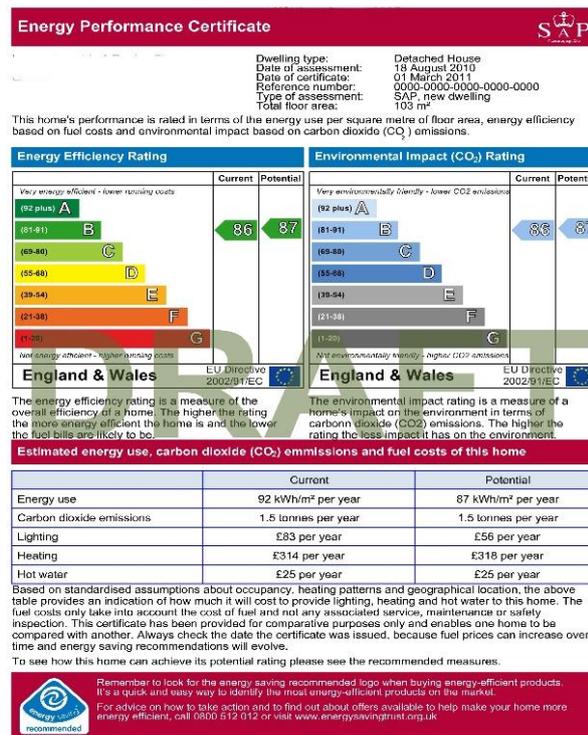


Figura 2. 5. Modelo para la certificación energética en Reino Unido.

Fuente: <http://www.nationalsaps.co.uk/>



## 2.5. Programas de calculo

Para conocer las demandas y consumos energéticos de los edificios podemos recurrir a herramientas informáticas avanzadas y reconocidas por los diferentes organismos y normas.

Los más importantes son LIDER, CALENER, CERMA, CE3 y CE<sup>3</sup>X ya que son los programas, que estipula la normativa, que hay que usar para realizar la certificación energética de edificios. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

### 2.5.1. LIDER

LIDER es la aplicación informática que permite cumplir con la opción general de verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1) y está patrocinada por el Ministerio de Vivienda y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Esta herramienta está diseñada para realizar la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios, así como para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el CTE-HE1 y para la impresión de la documentación administrativa pertinente.

El método general consiste en limitar la demanda energética de los edificios de una manera directa, evaluando su demanda energética mediante su método de cálculo. Esta evaluación se realizará considerando el edificio en dos situaciones:

- Como edificio objeto, es decir, el edificio tal cual ha sido proyectado en geometría (forma y tamaño), construcción y operación.
- Como edificio de referencia, que tiene la misma forma y tamaño del edificio objeto; la misma zonificación interior y el mismo uso de cada zona que tiene el edificio objeto; los mismos obstáculos remotos del edificio objeto; y unas calidades constructivas de los componentes de fachada, suelo y cubierta por un lado y unos elementos de sombra por otro que garanticen el cumplimiento de las exigencias de demanda energética.

La única limitación para la utilización de la opción general es la derivada del uso en el edificio de soluciones constructivas innovadoras cuyos modelos no puedan ser introducidos en el programa informático que se utilice.



## 2.5.2. CALENER

CALENER es un entorno de aplicaciones y documentos informáticos destinado a la Calificación Energética de edificios. La versión GT de CALENER realiza la calificación de "Grandes Edificios Terciarios". Por tanto, nunca debe utilizarse esta versión para la calificación de ningún tipo de viviendas.

Para decidir qué edificios del sector no-residencial o terciario son grandes y cuáles pequeños y medianos debemos basarnos fundamentalmente en los tipos de sistemas (alcance) de los programas CALENER-VYP y CALENER-GT. Así, recomendamos el uso de CALENER-GT en aquellas situaciones en las que, debido al tipo de sistema que tiene el edificio, no pueda usarse CALENER-VYP.

Esta aplicación está diseñada para la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y sus instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación (para edificios no residenciales), llevando a cabo todos los cálculos necesarios para su calificación energética, de acuerdo a la normativa vigente.

La definición de los edificios es compatible con la requerida por el programa LIDER y por tanto se puede cargar en el programa el archivo de definición geométrica y constructiva obtenido con LIDER.

## 2.5.3. CERMA

Otro de los registros de documentos reconocidos es el CERMA, un procedimiento de certificación de eficiencia energética de edificios de viviendas nuevo y existente.

CERMA es aplicación que permite la obtención de la calificación de la eficiencia energética en edificios de viviendas de nueva construcción y en edificios residenciales existentes en todo el territorio español, ofreciendo un estudio detallado para mejorar la calificación obtenida.

La principal diferencia que presenta CERMA en su modo de trabajo para edificios existentes es la caracterización de la permeabilidad de los huecos ya que esta está directamente relacionada con las renovaciones/hora de un recinto, dato que ejerce gran influencia en los resultados de la evaluación energética de un edificio residencial.

### 2.5.4. CE3

El programa CE3 se utiliza para realizar un procedimiento simplificado de certificación de edificios existentes, CE3 es aplicable a todo tipo de edificios existentes (Viviendas, pequeños, medianos y grandes terciarios) excepto para aquellos que dispongan de componentes, elementos equipos o sistemas no incluidos en el programa.

De forma general, CE3 difiere de los programas desarrollados para la certificación de edificios de nueva planta en dos aspectos: en la inclusión de medidas de mejora y en las bases de datos de valores orientativos que el programa carga por defecto en función del año de construcción del edificio.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de CE3 se ha orientado a facilitar lo que se considera el objetivo fundamental de la calificación de eficiencia energética de los edificios existentes, que consiste en promover la implementación de medidas de mejora de la eficiencia energética, permitiendo además la evaluación de las medidas de ahorro de energía.

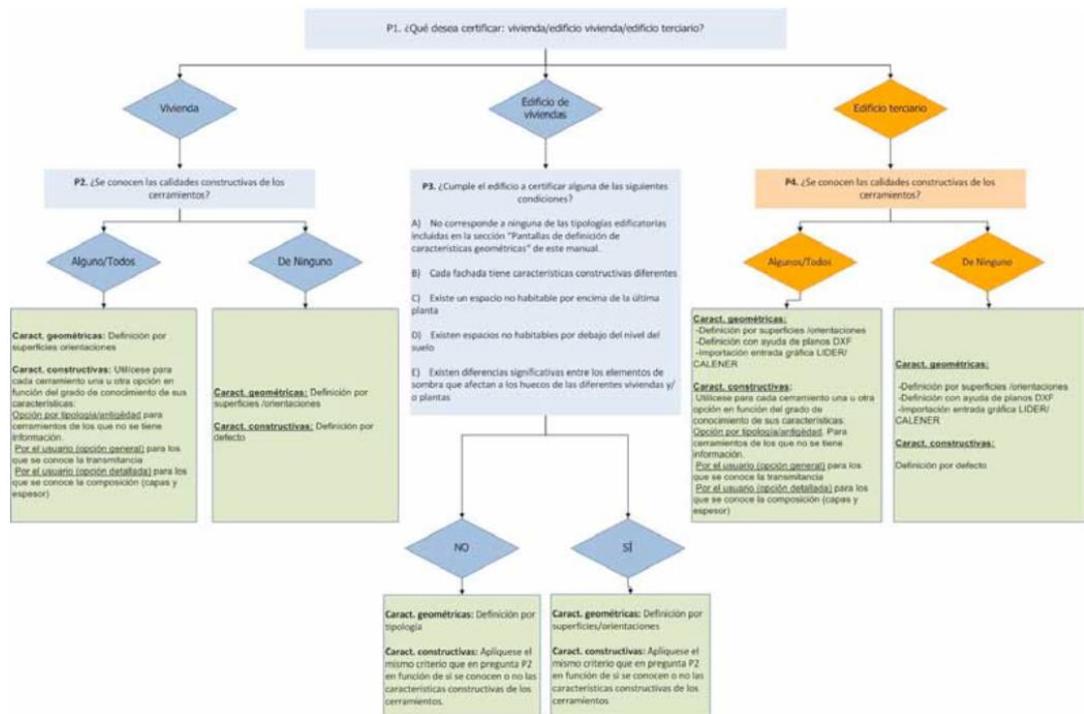


Figura 2. 6. Diagrama de uso de CE3 Fuente: IDAE

## 2.5.5. CE<sup>3</sup>X

Al igual que CE3, CE<sup>3</sup>X, es un programa de certificación energética de igual manera para todo tipo de edificios existentes. A continuación se muestra una figura de la metodología de uso de CE<sup>3</sup>X.

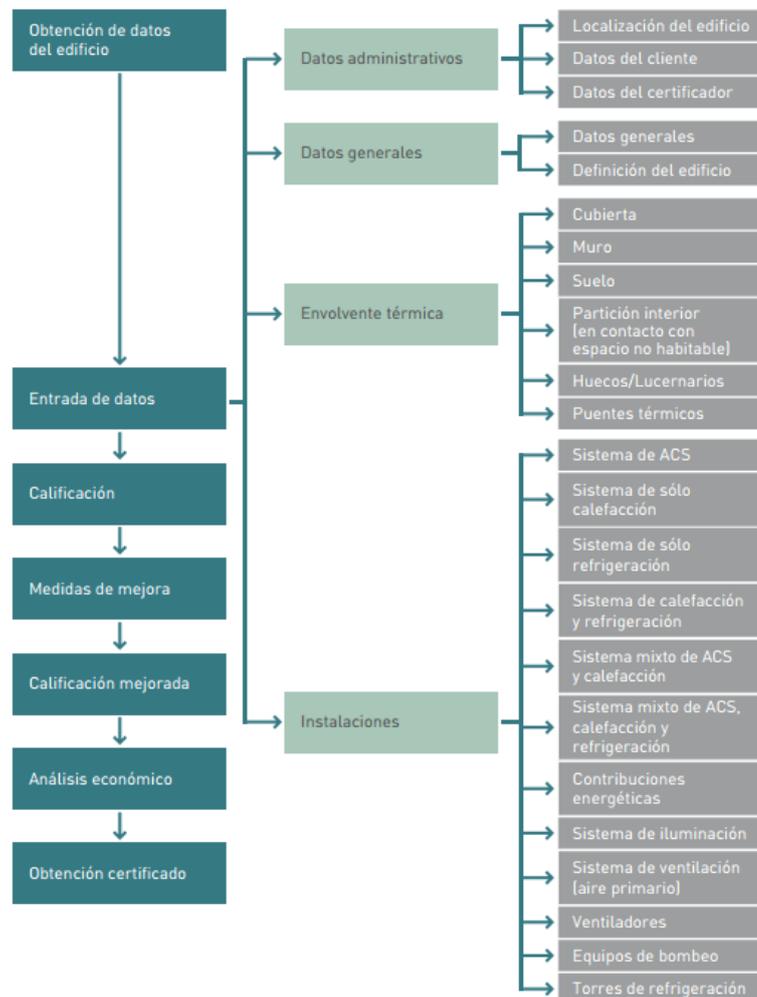


Figura 2. 7. Estructura del procedimiento de certificación en CE<sup>3</sup>X

Fuente: IDAE

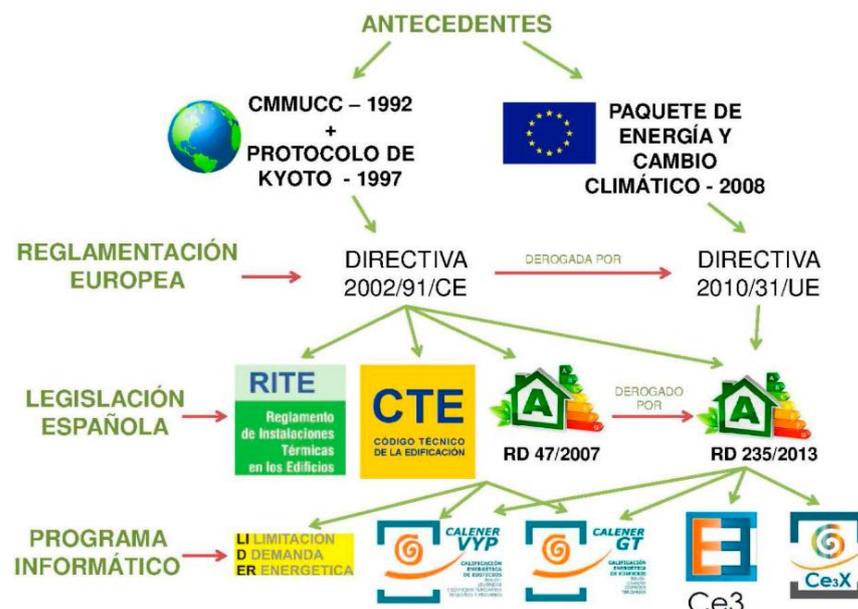
El programa se fundamenta en la comparación del edificio objeto de la certificación y una base de datos que ha sido elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas, con los resultados obtenidos a partir de realizar un gran número de simulaciones con CALENER. Con la base de datos se han cubierto todas las posibilidades constructivas que se pueden llegar a dar en el parque edificatorio español. Las variables que más influencia tienen en determinar las demandas energéticas de un edificio son:

- Zona climática

- Tipo de edificio: los experimentos de la base de datos se han realizado tanto para edificios del sector residencial como del sector terciario.
- Compacidad del edificio.
- Ventilación
- Transmitancia térmica de los cerramientos opacos
- Masa de los cerramientos.
- Porcentaje de huecos en fachada.
- Transmitancia térmica de los huecos.
- Factores solares de los vidrios y elementos de sombreado
- Puentes térmicos.

Todas las variables cuantitativas han sido parametrizadas de forma que se puedan comparar edificios con características similares. Cuando el usuario introduce los datos del edificio objeto, el programa parametriza dichas variables y las compara con las recogidas en la base de datos. De esta forma, el software busca los experimentos con características muy similares a las del edificio objeto e interpola respecto a ellas las demandas de calefacción y refrigeración, llegando así a las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto.

La versión 1.3 de CE<sup>3</sup>X será el programa empleado en el presente trabajo debido a su actualización con las normas vigentes hoy en día, su mayor facilidad de uso y su versatilidad ya que permite variar en un momento cualquier parámetro de los que definen al edificio.



**Figura 2. 8. Esquema del marco teórico en certificación energética. Fuente: <http://www.espaciosabierto.com>**

### 3. Normativa

Las exigencias relativas a la certificación energética de edificios establecidas en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, se transpusieron en el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, mediante el que se aprobó un Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

Con posterioridad, la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, ha sido modificada mediante la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, circunstancia que ha obligado a transponer de nuevo al ordenamiento jurídico español las modificaciones que introduce con respecto a la Directiva modificada.

En consecuencia, mediante el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril se transpone parcialmente la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, en lo relativo a la certificación de eficiencia energética de edificios, refundiendo el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, con la incorporación del Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes.

Este Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, entró en vigor el día siguiente de su publicación en el Boletín Oficial del Estado nº 89 (13/04/2013), siendo voluntaria su aplicación hasta el 1 de junio de 2013. A partir de ese momento, la presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio, según corresponda, será exigible para los contratos de compraventa o arrendamiento celebrados a partir de dicha fecha.

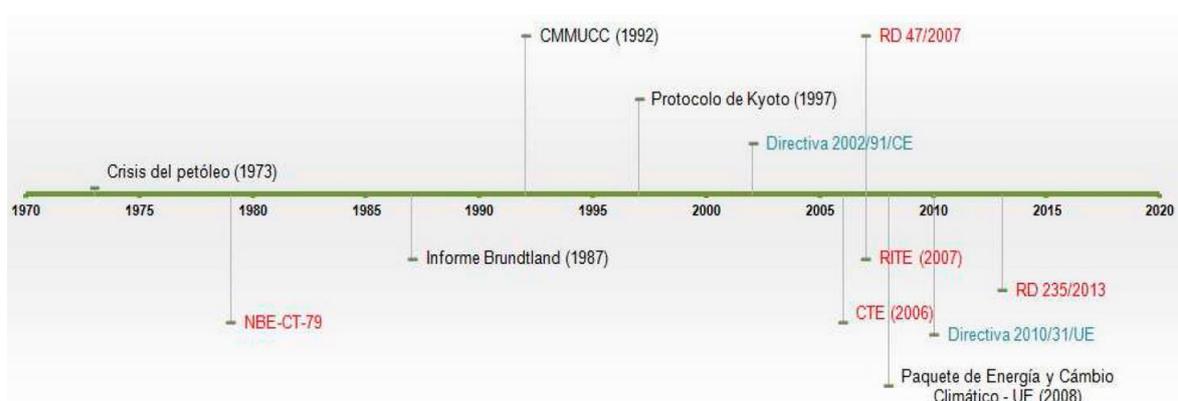


Figura 3. 1. Línea temporal de los eventos y normativa en materia de eficiencia energética.

Fuente: <http://www.espaciomasabierto.com>



## 4. Definición del edificio

En este capítulo definiremos todos los factores que se van a tener en cuenta para el análisis y todas las características que tendrá el edificio base, tanto las que mantendremos constantes a lo largo de los ensayos como las que presentarán modificaciones, así como de los sistemas de mejora de la envolvente térmica que vamos a comparar. La mayoría de los datos como morfología, particiones, cerramientos, sistema de calefacción, rendimientos medios estacionales, etc. han sido obtenidos del documento *Escala de calificación energética. Edificios existentes*, elaborado por el IDAE en el que se recogen gran parte de las características de los edificios que componen el parque de edificios existentes.

### 4.1. Situación

Para realizar un correcto análisis de los diferentes sistemas de mejora de la envolvente térmica consideramos diferentes ubicaciones para el edificio ya que un dato importante es la zona climática donde nos encontramos, pues todas las zonas no se califican energéticamente de igual manera, ya que las condiciones de humedad, altura sobre el nivel del mar, temperaturas medias, etc.; son diferentes y por tanto un factor a tener en cuenta en nuestro análisis ya que analizamos tanto las variaciones en la demanda de calefacción como las de refrigeración.

Las zonas climáticas en nuestro país están divididas en 12, diferenciados por letras (A, B, C, D y E) y números (1, 2, 3 y 4).

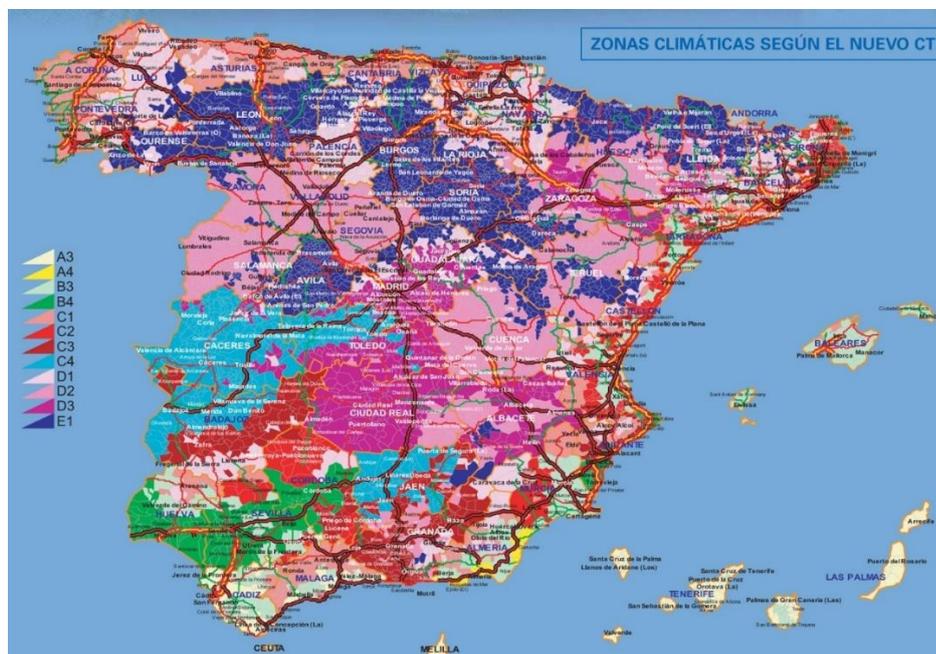


Figura 4. 1. Zonas Climáticas en España. Fuente: <http://www.cmburgos.es/>



Las ubicaciones empleadas en el presente trabajo son:

- Cádiz (Zona Climática A3)
- Valencia (Zona Climática B3)
- Barcelona (Zona Climática C2)
- Madrid (Zona Climática D3)
- Burgos (Zona Climática E1)

## 4.2. Orientación

De la orientación depende el grado de insolación de las diferentes fachadas del edificio así como las sombras proyectadas sobre el mismo. Por lo tanto es un factor importante a considerar.

Las diferentes orientaciones de la fachada principal de nuestro edificio, y que por tanto condicionan la orientación del resto de elementos del edificio, empleadas en el presente trabajo son:

- Norte
- Noreste
- Este
- Sureste
- Sur
- Suroeste
- Oeste
- Noroeste

## 4.3. Edificio base

El edificio elegido, en el que vamos a analizar los diferentes sistemas para mejorar la eficiencia energética de su envolvente, es un bloque de viviendas tipo de los años 60, según la distribución del parque de edificios existentes elaborada por el IDAE, de 4 plantas (3+PB) y cuya distribución en planta es la siguiente:

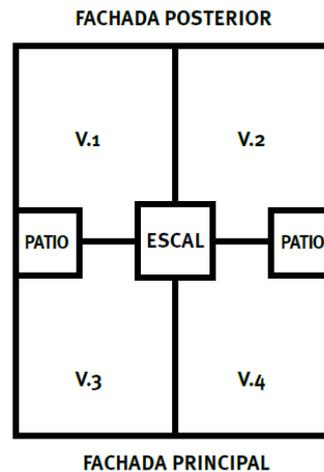


Figura 4. 2. Distribución en planta del edificio base.

Fuente: IDAE

Por lo tanto, el edificio, situado entre medianeras, cuenta con 4 viviendas por planta y con dos patios interiores. La superficie por planta son 365 m<sup>2</sup> de los cuales 30 m<sup>2</sup> corresponden a los patios y 15 m<sup>2</sup> a la superficie de la caja de las escaleras. La altura libre por planta son 2,7 m. La masa de las particiones interiores del edificio es considerada media (entre 200 y 500 kg/m<sup>2</sup>). La fachada principal tiene una longitud de 20,3 m.

A continuación pasamos a definir detalladamente los aspectos más relevantes del edificio.

### 4.3.1. Suelo

El suelo de nuestro edificio estará en contacto con terreno y a una profundidad de 0,5 metros y sus características constructivas son las siguientes:

Tabla 4. 1. Características constructivas del suelo

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
Piedra Artificial	Pétreos y suelos	0,023	0,03	1,3	1700	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000	Morteros	0,022	0,04	1,8	2100	1000
Hormigón con áridos ligeros con densidad entre 1800 y 2000	Hormigones	0,222	0,3	1,35	1900	1000
<b>TOTAL</b>		<b>0,267</b>	<b>0,37</b>			



### 4.3.2. Fachadas

La envolvente térmica del edificio constará de 8 fachadas, la fachada principal, la fachada posterior y las fachadas correspondientes a los patios.

Para definir la superficie de las fachadas tomaremos como referencia que la orientación de la fachada principal es sur.

**Tabla 4. 2. Distribución de la superficie de fachada**

Fachada	Orientación	Superficie (m <sup>2</sup> )
Principal	Sur	243,6
Posterior	Norte	243,6
Fachada Patio 1	Sur	36
Fachada Patio 2	Sur	36
Fachada Patio 1	Norte	36
Fachada Patio 2	Norte	36
Fachada Patio 1	Este	60
Fachada Patio 2	Oeste	60
<b>TOTAL</b>		<b>751,2</b>

El total de las fachadas constituirá unos 751,2 m<sup>2</sup> de cerramiento de los cuales habrá que excluir los huecos que comentaremos en el siguiente apartado.

Todas estas fachadas estarán compuestas por el siguiente cerramiento que es característico de la época en que se construyó el edificio:

**Tabla 4. 3. Características constructivas de las fachadas base.**

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	Fábricas de ladrillo	0,39	0,26	0,667	1220	1000
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	Enlucidos	0,035	0,02	0,57	1150	1000
<b>TOTAL</b>		<b>0,425</b>	<b>0,28</b>			

### 4.3.3. Huecos

Según el “Apéndice A” del DB HE1 se entiende por hueco cualquier elemento semitransparente de la envolvente del edificio, por lo tanto comprende las ventanas y las puertas acristaladas y el hueco estará formado por el vidrio más el marco.

En nuestro caso los huecos están definidos por el porcentaje de superficie que ocupan con respecto a la superficie total de la fachada, por lo tanto:

**Tabla 4. 4. Distribución de los huecos**

Fachada	Orientación	% Huecos	Superficie Huecos (m <sup>2</sup> )
Principal	Sur	26	63,34
Posterior	Norte	23	56,03
Fachada Patio 1	Sur	2	0,72
Fachada Patio 2	Sur	2	0,72
Fachada Patio 1	Norte	2	0,72
Fachada Patio 2	Norte	2	0,72
Fachada Patio 1	Este	7	4,20
Fachada Patio 2	Oeste	7	4,20
<b>TOTAL</b>			<b>130,64</b>

El total de superficie de los huecos es de constituirá unos 130,64 m<sup>2</sup>, de los cuales el 20 % serán la superficie de los marcos y el resto de los vidrios.

Las propiedades térmicas de los huecos han sido estimadas suponiendo que son poco estancos, que están compuestos por doble vidrio, y que el marco es de color marrón medio y metálico sin ruptura de puente térmico.

También se ha supuesto que los huecos carecen de dispositivos de protección solar (voladizos, lamas, toldos, etc.) puesto que suele ser lo más habitual.

*Parámetros característicos del hueco*

<b>Propiedades térmicas</b>	Estimadas		
Tipo de vidrio	Doble	<i>U vidrio</i>	3.3 W/m <sup>2</sup> K
Tipo de marco	Metálico sin RPT	<i>g vidrio</i>	0.75
		<i>U marco</i>	5.7 W/m <sup>2</sup> K

**Figura 4. 3. Propiedades de los huecos.**

#### 4.3.4. Medianerías

Puesto que nuestro edificio está situado entre medianerías hay que definir las, en nuestro caso tienen una superficie total de 312 m<sup>2</sup> y se ha establecido una masa de las mismas igual a 200 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.3.5. Cubierta

Se trata de una cubierta ligeramente inclinada pero que se puede considerar plana y que por lo tanto cuenta con una superficie de 335 m<sup>2</sup>, que es la de la planta del edificio descontando la superficie de los patios interiores puesto que estos no están cubiertos. A continuación se muestran las características constructivas de la cubierta:

Tabla 4. 5. Características constructivas de la cubierta base

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
Teja de arcilla cocida	Cerámicos	0,02	0,02	1	2000	800
Tablero de partículas con cemento d < 1200	Maderas	0,087	0,02	0,23	1200	1500
Cámara de aire horizontal ligeramente ventilada	Cámaras de aire	0,09	0,1	-	-	-
FU Entrevigado cerámico Canto 250 mm	Forjados Unidireccionales	0,275	0,25	0,908	1220	1000
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	Enlucidos	0,035	0,02	0,57	1150	1000
<b>TOTAL</b>		<b>0,507</b>	<b>0,41</b>			

#### 4.3.6. Sombras

Puesto que el edificio se encuentra entre medianerías se ha considerado importante definir las sombras proyectadas por los edificios colindantes, para ello se ha supuesto que los edificios colindantes son de la misma altura y características que nuestro edificio, por lo tanto las sombras solo afectaran a las fachadas de los patios ya que no se ha considerado que haya edificios enfrente o detrás puesto que la distancia de estos al nuestro puede ser muy variable.

### 4.3.7. Puentes térmicos

Los puentes térmicos son de gran importancia en el presente trabajo, no porque sean una zona donde se transmite más fácilmente el calor que en las zonas aledañas, sino porque en función de los sistemas empleados para la mejora de la envolvente térmica pueden eliminarse unos u otros y por lo tanto juegan un papel importante a la hora de comparar la eficacia de un sistema u otro.

En nuestro caso los puentes térmicos definidos son los siguientes:

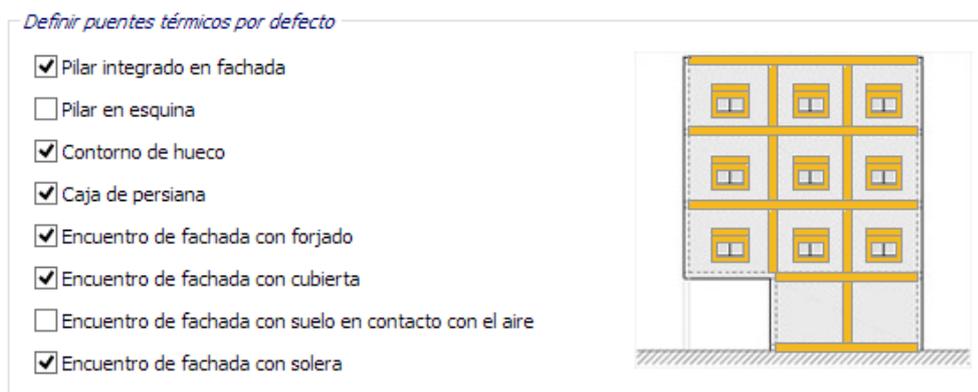


Figura 4. 4. Puentes térmicos del edificio base.

Las características de los puentes térmicos son las fijadas por defecto en el programa ya que se basan en las dimensiones establecidas para los diferentes elementos del edificio.

A continuación se muestra una tabla en la que se indican los puentes térmicos del edificio base:

Tabla 4. 6. Puentes térmicos del edificio base

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Suelo	-	Encuentro de fachada con solera	0,14	109,7
Fachada Principal	Sur	Pilar integrado en fachada	1,05	72
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	60,9
		Contorno de hueco	0,55	128,7
		Caja de Persiana	1,49	63,3
Fachada Posterior	Norte	Pilar integrado en fachada	1,05	72
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	60,9
		Contorno de hueco	0,55	114,1
		Caja de Persiana	1,49	56

Tabla 4. 6. Puentes térmicos del edificio base (Cont.)

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Fachada patio 1	Sur	Pilar integrado en fachada	1,05	21,6
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Contorno de hueco	0,55	3,4
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 2	Sur	Pilar integrado en fachada	1,05	21,6
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Contorno de hueco	0,55	3,4
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 1	Norte	Pilar integrado en fachada	1,05	21,6
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Contorno de hueco	0,55	3,4
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 2	Norte	Pilar integrado en fachada	1,05	21,6
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Contorno de hueco	0,55	3,4
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 1	Este	Pilar integrado en fachada	1,05	24
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	15
		Contorno de hueco	0,55	10,4
		Caja de Persiana	1,49	4,2
Fachada Patio 2	Oeste	Pilar integrado en fachada	1,05	24
		Encuentro de fachada con forjado	1,58	15
		Contorno de hueco	0,55	10,4
		Caja de Persiana	1,49	4,2
Cubierta	-	Encuentro de fachada con cubierta	0,49	109,7

### 4.3.8. Instalación de calefacción

Se ha supuesto un sistema de calefacción central a base de gasóleo que cubre la demanda de todo el edificio con un rendimiento medio estacional del 65 %.

<b>Características</b>		<b>Demanda cubierta</b>	
Tipo de generador	Caldera Estándar	Superficie (m2)	1340,0
Tipo de combustible	Gasóleo-C	Porcentaje (%)	100
<b>Rendimiento medio estacional</b>		<b>Rendimiento medio estacional</b>	
Rendimiento medio estacional	Conocido (Ensayado/justificado)	Rendimiento medio estacional	65 %

Figura 4. 5. Instalación de calefacción.

### 4.3.9. Instalación de ACS

Se ha definido un sistema de ACS puesto que el programa nos obliga a ello pero esto no es relevante y no afecta al análisis a realizar en el presente trabajo. El sistema lo suponemos de calderas estándar de gas natural individuales que tienen un rendimiento medio estacional del 60 %.

Características		Demanda cubierta	
Tipo de generador	Caldera Estándar	ACS	
Tipo de combustible	Gas Natural	Superficie (m2)	1340.0
		Porcentaje (%)	100
Rendimiento medio estacional			
Rendimiento estacional	Conocido (Ensayado/justificado)	Rendimiento medio estacional	60 %

Figura 4. 6. Instalación de ACS.

### 4.3.10. Instalación de refrigeración

En este caso no se ha definido instalación de refrigeración ya que aunque no la definamos el programa igualmente nos calcula la demanda de refrigeración del edificio en función de la demanda de refrigeración referencia establecida y será esta la que utilizemos.

## 4.4. Sistemas de aislamiento

La rehabilitación de fachadas es una necesidad periódica para la gran mayoría de los inmuebles debido al deterioro que se produce en la misma con el tiempo. En la actualidad estas rehabilitaciones no están sujetas solo a condicionantes estéticos del edificio sino que también se llevan a cabo desde un punto de vista energético usando sistemas dotados de aislamiento térmico que permitan ahorros energéticos y económicos por un menor o nulo mantenimiento. Por lo tanto los criterios a exigir a estas soluciones serían:

- Mejorar las características de aislamiento térmico de la fachada y, por tanto, disminuyendo los consumos energéticos y económicos del edificio.
- Alargar el periodo de vida útil de los acabados de la fachada.

Se pone de manifiesto entonces que la elección de un sistema de aislamiento que se ajuste a nuestras necesidades puede suponer grandes ahorros. Es por tanto este el objetivo del presente trabajo, comparar diferentes sistemas en diferentes condiciones para establecer cuál es el idóneo en cada una de ellas.



Hay que hacer constar, que en los sistemas de aislamiento empleados en el presente trabajo no se ha tenido en cuenta la sustitución de ventanas, ya que el objetivo es comparar los diferentes sistemas de aislamiento sin tener en cuenta las reducciones de la demanda obtenidas por la mejora de la sustitución de ventanas, ya que estas serían las mismas en todos los sistemas debido a que se utilizaría la misma ventana en todos ellos.

#### 4.4.1. Cubierta

Puesto que el aire caliente es menos denso que el frío este tiende a subir y a acumularse en la parte alta de los edificios, es por esto que a través de la cubierta de los mismos se producen grandes pérdidas de energía que después hay que suplir con los sistemas de climatización. Por todo ello en el presente trabajo también se ha querido analizar el efecto que tiene el aislar o no la cubierta. Además para que dicho aislamiento no interfiera en la comparativa de los diferentes sistemas para aislar la fachada se han hecho simulaciones con la cubierta aislada y sin aislar y por eso en todos los casos se ha utilizado el mismo sistema de aislamiento de la cubierta.

A continuación se muestran las características de la cubierta una vez aislada:

Tabla 4. 7. Características constructivas de la cubierta aislada

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
Teja de arcilla cocida	Cerámicos	0,02	0,02	1	2000	800
EPS Poliestireno Expandido	Aislantes	1,6	0,06	0,0375	30	1000
Tablero contrachapado 750 < d < 900	Maderas	0,083	0,02	0,24	825	1600
Cámara de aire horizontal ligeramente ventilada	Cámaras de aire	0,09	0,1	-	-	-
FU Entrevigado cerámico Canto 250 mm	Forjados Unidireccionales	0,275	0,25	0,908	1220	1000
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	Enlucidos	0,035	0,02	0,57	1150	1000
<b>TOTAL</b>		<b>2,103</b>	<b>0,47</b>			

Como se puede comprobar la resistencia térmica ha aumentado considerablemente con respecto a la situación inicial.

## 4.4.2. Suelo

A pesar de que por el suelo también se pierde energía no se ha considerado estudiar su impacto, puesto que sería mucho menor que el de la cubierta y en la realidad aislar los suelos de una vivienda es una práctica que no se suele llevar a cabo por que se causan grandes molestias a los ocupantes de las viviendas.

## 4.4.3. Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)

Los sistemas SATE, están formados por varios elementos que dan como resultado un excelente aislamiento térmico al proporcionar al edificio una envolvente que minimiza las pérdidas energéticas del mismo lo que conlleva sus correspondientes ahorros económicos y de emisiones.

Este tipo de solución cuenta con las siguientes ventajas:

- No se pierde superficie útil del edificio al realizarse por el exterior.
- Los usuarios o habitantes del edificio no necesitan desplazarse fuera del mismo durante las obras.
- Se eliminan casi todos los puentes térmicos que pudieran existir en el edificio.
- Se reduce la aparición de humedades en el interior de los edificios ya que el aislamiento evita la aparición de puntos fríos en las paredes.
- A parte de aislar térmicamente también lo hace acústicamente mejorando las condiciones acústicas del edificio.

De las múltiples soluciones de este tipo que hay en el mercado la que vamos a analizar es la siguiente:

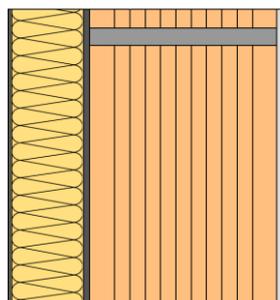


Figura 4. 6. Esquema del sistema SATE.

Tabla 4. 8. Características constructivas del sistema SATE

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
Acrílicos	Plásticos	0,005	0,001	0,2	1050	1500
Mortero de áridos ligeros [vermiculita, perlita]	Morteros	0,015	0,006	0,41	900	1000
EPS Poliestireno Expandido	Aislantes	1,6	0,06	0,0375	30	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería y revoco/enlucido d > 2000	Morteros	0,006	0,01	1,8	2100	1000
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	Fábricas de ladrillo	0,39	0,26	0,667	1220	1000
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	Enlucidos	0,035	0,02	0,57	1150	1000
<b>TOTAL</b>		<b>2,051</b>	<b>0,357</b>			

Los puentes térmicos que todavía existen tras la colocación de este sistema son:

Tabla 4. 9. Puentes térmicos existentes en fachada aislada con el sistema SATE

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Suelo	-	Encuentro de fachada con solera	0,14	109,7

#### 4.4.4. Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior Ventilado (SATEV)

Otra de las soluciones de aislamiento analizadas es la instalación de una fachada ventilada. Este tipo de solución es similar a la anterior con la diferencia de que sobre la pared exterior del edificio se fija una subestructura metálica destinada a soportar un aplacado exterior situado a unos pocos centímetros del aislamiento dando lugar a una cámara de aire ventilada.

Este tipo de solución es efectiva durante todo el año, pero es durante los meses de verano cuando sus propiedades deben adquirir mayor importancia ya que el objetivo de la fachada ventilada es evacuar gran parte de la energía absorbida por el aplacado para evitar que el calor pase al interior del edificio.

Además de las ventajas comentadas para el sistema anterior debemos añadir:

- El aplacado exterior aísla el edificio contra el viento o la lluvia.

- Conducir hacia el exterior el calor radiante.
- Disminuir los riesgos de condensación en la fachada debido a la circulación del aire a lo largo de la cámara ventilada.

Como inconvenientes con respecto al sistema anterior se pueden destacar:

- Mayor coste
- El aislante está en contacto con el aire y por lo tanto puede ser atacado por animales (pájaros, roedores, etc.) reduciendo la vida útil del mismo.

De las múltiples soluciones de este tipo que hay en el mercado la que vamos a analizar es la siguiente:

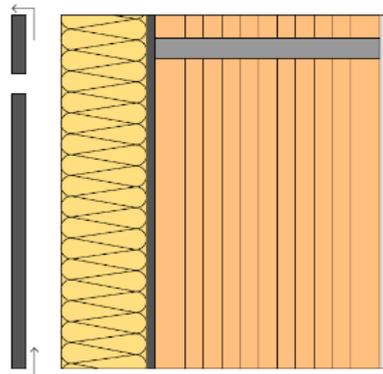


Figura 4. 7. Esquema del sistema SATEV.

Tabla 4. 10. Características constructivas del sistema SATEV.

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de Conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
Plaqueta o baldosa cerámica	Cerámicos	0,015	0,015	1	2000	800
Cámara de aire ligeramente ventilada vertical	Cámaras de aire	0,09	0,05	-	-	-
EPS Poliestireno Expandido	Aislantes	1,6	0,06	0,0375	30	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería y revoco/enlucido d > 2000	Morteros	0,006	0,01	1,8	2100	1000
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	Fábricas de ladrillo	0,39	0,26	0,667	1220	1000
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	Enlucidos	0,035	0,02	0,57	1150	1000
<b>TOTAL</b>		<b>2,136</b>	<b>0,415</b>			



Los puentes térmicos que todavía existen tras la colocación de este sistema son:

**Tabla 4. 11. Puentes térmicos existentes en fachada aislada con el sistema SATEV**

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Suelo	-	Encuentro de fachada con solera	0,14	109,7

#### 4.4.5. Sistemas de Aislamiento Térmico Interior (SATI)

Otra solución de aislamiento de fachadas es el aislamiento por el interior. Este tipo de soluciones tiene las siguientes ventajas frente a los anteriores sistemas:

- No es necesario que se realice el aislamiento en todo el bloque sino que se puede aislar una única vivienda.
- En edificios cuya fachada no puede ser alterada es la única solución posible.
- No requiere la instalación de andamios.

Las desventajas de este sistema frente a los anteriores son las siguientes:

- Algunos puentes térmicos no se consiguen eliminar (frentes de forjado y cajas de persiana).
- Se reduce el espacio habitable.
- Se causan molestias a los habitantes o usuarios del edificio.
- Puede ser necesaria la instalación de barreras de vapor.

En este caso es importante tener en cuenta que se deberá picar el enlucido de yeso porque al ser el yeso un material higroscópico si lo dejamos embebido en el cuerpo de la fachada puede dar lugar a que aparezcan humedades que se manifiesten en las zonas en las que el aislante contacta con el pavimento y además así también se reduce al mínimo el espacio habitable ocupado por el sistema de aislamiento.

De las múltiples soluciones de este tipo que hay en el mercado la que vamos a analizar es la siguiente:

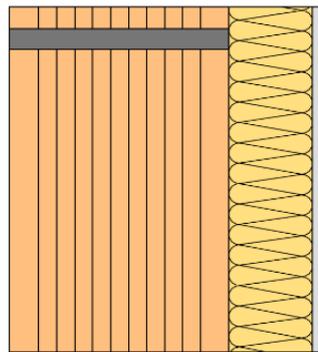


Figura 4. 8. Esquema del sistema SATI.

Tabla 4. 12. Características constructivas del sistema SATI

Material	Grupo	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/W)	Espesor (m)	Coefficiente de conductividad Térmica (W/(m·K))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico (J/(kg·K))
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	Fábricas de ladrillo	0,39	0,26	0,667	1220	1000
EPS Poliestireno Expandido	Aislantes	1,6	0,06	0,0375	30	1000
Placa de yeso laminado 750 < d < 900	Yesos	0,06	0,015	0,25	825	1000
<b>TOTAL</b>		<b>2,05</b>	<b>0,335</b>			

Los puentes térmicos que todavía existen tras la colocación de este sistema SON:

Tabla 4. 13. Puentes térmicos existentes en fachada aislada con el sistema SATI

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Suelo	-	Encuentro de fachada con solera	0,14	109,7
Fachada Principal	Sur	Encuentro de fachada con forjado	1,58	60,9
		Caja de Persiana	1,49	63,3
Fachada Posterior	Norte	Encuentro de fachada con forjado	1,58	60,9
		Caja de Persiana	1,49	56
Fachada patio 1	Sur	Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 2	Sur	Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 1	Norte	Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Caja de Persiana	1,49	0,7

Tabla 4. 13. Puentes térmicos existentes en fachada aislada con el sistema SATI (Cont.)

Cerramiento Asociado	Orientación	Tipo PT	Conductividad Térmica (W/(m·K))	Longitud del PT (m)
Fachada Patio 2	Norte	Encuentro de fachada con forjado	1,58	10
		Caja de Persiana	1,49	0,7
Fachada Patio 1	Este	Encuentro de fachada con forjado	1,58	15
		Caja de Persiana	1,49	4,2
Fachada Patio 2	Oeste	Encuentro de fachada con forjado	1,58	15
		Caja de Persiana	1,49	4,2
Cubierta	-	Encuentro de fachada con cubierta	0,49	109,7

#### 4.4.6. Resumen de las características térmicas de los cerramientos

A continuación se muestra un cuadro resumen de las características de los diferentes cerramientos utilizados en el presente trabajo:

Tabla 4. 14. Características térmicas de los diferentes cerramientos

Cerramiento	Trasmittancia Térmica (W/(m <sup>2</sup> ·K))
Suelo	3,75
Cubierta Base	1,97
Cubierta Aislada	0,48
Fachada Base	2,35
Fachada SATE	0,49
Fachada SATEV	0,47
Fachada SATI	0,49

Como se puede apreciar el aislamiento obtenido por cada uno de los sistemas es muy parecido, ya que en todos se utiliza el mismo espesor de aislamiento y este es el factor principal de la mejora de la eficiencia energética de la envolvente, y por lo tanto los factores que marcarán las diferencias en los resultados serán las características constructivas de cada sistema y su coste.

## 5. Resultados

Una vez descrito nuestro edificio base y los diferentes sistemas de aislamiento elegidos podemos empezar a realizar cálculos sobre los mismos. Para ello como dijimos anteriormente usaremos la versión 1.3 del programa CE<sup>3</sup>X.

En total se han realizado 280 simulaciones teniendo en cuenta las variaciones de orientación, zona climática, sistema de aislamiento y si la cubierta está aislada o no.

El programa CE<sup>3</sup>X nos arroja un informe con la siguiente información en cada simulación:

**CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES**

**IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:**

Nombre del edificio	Tipo 6		
Dirección	Calle Falsa 123		
Municipio	Cádiz	Código Postal	0
Provincia	Cádiz	Comunidad Autónoma	Andalucía
Zona climática	A3	Año construcción	1960
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	Anterior a la NBE-CT-79		
Referencia/s catastral/es	0		

**Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vivienda             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Unifamiliar</li> <li>• Bloque                 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloque completo</li> <li>○ Vivienda individual</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Terciario             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Edificio completo</li> <li>○ Local</li> </ul> </li> </ul>
---	---

**DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:**

Nombre y Apellidos	Pablo Caballero San Segundo	NIF	
Razón social	Ninguna	CIF	
Domicilio			
Municipio		Código Postal	
Provincia		Comunidad Autónoma	
e-mail			
Titulación habilitante según normativa vigente	Ingeniería Técnica de O.O.P.P.		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CE <sup>3</sup> X v1.3		

**CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:**

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]								
<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">&lt; 2.5 A</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2.5-4.7 B</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4.7-7.5 C</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7.5-11.2 D</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11.2-15.7 E</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15.7-29.0 F</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">29.0 G</td></tr> </table>	< 2.5 A	2.5-4.7 B	4.7-7.5 C	7.5-11.2 D	11.2-15.7 E	15.7-29.0 F	29.0 G	<p>21.96 E</p>
< 2.5 A								
2.5-4.7 B								
4.7-7.5 C								
7.5-11.2 D								
11.2-15.7 E								
15.7-29.0 F								
29.0 G								

El técnico certificador abajo firmante certifica que ha realizado la calificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 23/6/2015

Firma del técnico certificador

*Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.*  
*Anexo II. Calificación energética del edificio.*  
*Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.*  
*Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.*

Registro del Órgano Territorial Competente:

Fecha 24/6/2015  
 Ref. Catastral 0

Página 1 de 6

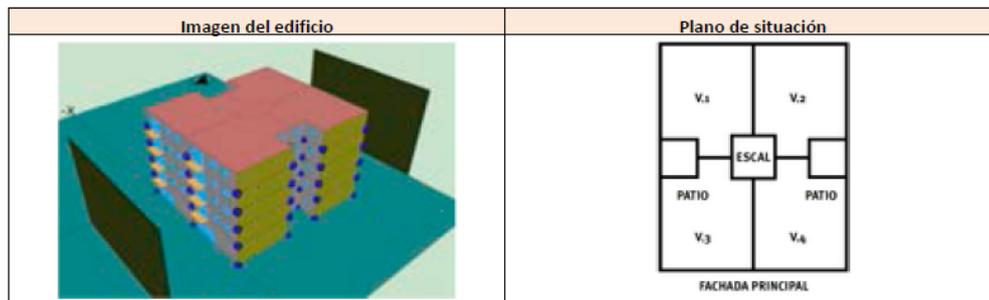
Figura 5. 1. Página inicial del informe.

### ANEXO I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

#### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m <sup>2</sup> ]	1340
--	------



#### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

##### Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
Cubierta	Cubierta	335	1.54	Conocido
Fachada Principal	Fachada	243.6	1.68	Conocido
Fachada Posterior	Fachada	243.6	1.68	Conocido
Fachada S Patio I	Fachada	36	1.68	Conocido
Fachada N Patio I	Fachada	36	1.68	Conocido
Fachada E Patio	Fachada	60.0	1.68	Conocido
Fachada O Patio	Fachada	60.0	1.68	Conocido
Medianerías	Fachada	312.0	0.00	Por defecto
Fachada S Patio D	Fachada	36	1.68	Conocido
Fachada N Patio D	Fachada	36	1.68	Conocido
Suelo	Suelo	335	0.68	Estimado

##### Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Huecos Fachada Principal	Hueco	63.336	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada Posterior	Hueco	56.028	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada S Patio D	Hueco	0.72	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada N Patio I	Hueco	0.72	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada E Patio	Hueco	4.2	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada O Patio	Hueco	4.2	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada S Patio I	Hueco	0.72	3.30	0.75	Estimado	Estimado
Huecos Fachada N Patio D	Hueco	0.72	3.30	0.75	Estimado	Estimado

Figura 5. 2. Anexo I del informe.



### 3. INSTALACIONES TÉRMICAS

#### Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefaccion Gasoleo	Caldera Estándar		65.00	Gasóleo-C	Conocido

#### Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención

#### Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
ACS Gas	Caldera Estándar		60.0	Gas Natural	Conocido

Figura 5. 3. Continuación del Anexo I del informe.

ANEXO II  
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	A3	Uso	Bloque de Viviendas
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
	<b>21.96 E</b>	CALEFACCIÓN	
		E	
		Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]
		9.62	4.17
		REFRIGERACIÓN	
		ILUMINACIÓN	
		G	
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]		Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]
21.96		8.16	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

2. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN			
	<b>21.8 E</b>		<b>21.38 E</b>		
				Demanda global de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]	
				21.80	
				Demanda global de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	
				21.38	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA

Por energía primaria se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes renovables y no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
	<b>89.7 E</b>	CALEFACCIÓN	
		E	
		Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]	Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> año]
		36.21	20.67
		REFRIGERACIÓN	
		ILUMINACIÓN	
		G	
Consumo global de energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> año]		Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> año]
89.70		32.82	-

Figura 5. 4. Anexo II del informe.



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES SISTEMAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICIOS EXISTENTES.**



De dicho informe nosotros solo utilizaremos los consumos de energía primaria de calefacción y refrigeración ya que estos son los únicos que se ven afectados por la mejora del aislamiento y además son los que realmente consumimos y pagamos en las viviendas.

A continuación se muestran unas tablas que recogen los datos de todos los informes generados:

**Tabla 5. 1. Consumos de calefacción.**

Consumo Energía Primaria Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	38,18	37,74	39,06	36,41	38,55	36,21	35,07	38,25	37,43
	SATE SC	6,31	6,13	7,00	5,43	6,88	5,01	4,44	6,40	5,95
	SATE CC	3,36	3,22	3,91	2,66	3,90	2,32	1,87	3,43	3,08
	SATEV SC	6,18	6,00	6,86	5,31	6,75	4,88	4,33	6,26	5,82
	SATEV CC	3,22	3,08	3,77	2,53	3,76	2,19	1,75	3,23	2,94
	SATI SC	18,49	18,26	19,39	17,34	18,85	16,79	16,06	18,61	17,97
	SATI CC	14,35	14,12	15,21	13,24	14,69	12,72	12,01	14,46	13,85
B3 (Valencia)	Base	77,40	76,96	78,47	75,52	77,84	75,15	73,94	77,50	76,60
	SATE SC	21,25	21,01	22,24	20,04	22,31	19,40	18,63	21,38	20,78
	SATE CC	13,01	12,79	13,91	11,90	14,03	11,32	10,62	13,12	12,59
	SATEV SC	20,89	20,65	21,88	19,69	21,95	19,05	18,27	21,14	20,44
	SATEV CC	12,65	12,43	13,55	11,56	13,68	10,97	10,27	12,80	12,24
	SATI SC	44,57	44,30	45,69	43,20	45,01	42,48	41,61	44,72	43,95
	SATI CC	36,44	36,17	37,54	35,10	36,88	34,39	33,53	36,58	35,83
C2 (Barcelona)	Base	107,53	107,11	108,67	105,70	108,00	105,20	104,02	107,65	106,74
	SATE SC	37,13	36,87	38,27	35,77	38,46	35,02	34,15	37,28	36,62
	SATE CC	25,40	25,15	26,46	24,14	26,70	23,43	22,63	25,54	24,93
	SATEV SC	36,69	36,43	37,83	35,34	38,02	34,58	33,71	36,72	36,17
	SATEV CC	24,94	24,70	26,00	23,69	26,25	22,98	22,18	24,97	24,46
	SATI SC	66,61	66,32	67,85	65,13	67,10	64,31	63,37	66,78	65,93
	SATI CC	56,19	55,90	57,43	54,72	56,68	53,89	52,95	56,35	55,51
D3 (Madrid)	Base	151,79	151,46	152,93	150,23	152,25	149,58	148,58	151,93	151,09
	SATE SC	61,12	60,86	62,34	59,74	62,73	58,89	58,01	61,28	60,62
	SATE CC	44,80	44,55	45,97	43,48	46,40	42,67	41,82	44,96	44,33
	SATEV SC	60,54	60,28	61,76	59,17	62,15	58,31	57,43	60,44	60,01
	SATEV CC	44,22	43,97	45,39	42,91	45,82	42,09	41,25	44,12	43,72
	SATI SC	99,07	98,80	100,33	97,65	99,57	96,77	95,86	99,25	98,41
	SATI CC	84,27	83,99	85,55	82,82	84,77	81,93	81,01	84,44	83,60
E1 (Burgos)	Base	249,86	249,65	250,95	248,71	250,29	247,90	247,17	250,01	249,32
	SATE SC	120,74	120,50	121,97	119,44	122,91	118,53	117,71	120,91	120,34
	SATE CC	94,68	94,44	95,92	93,38	96,85	92,46	91,63	94,85	94,28
	SATEV SC	119,88	119,65	121,12	118,59	122,06	117,67	116,85	119,44	119,41
	SATEV CC	93,80	93,56	95,04	92,49	95,97	91,57	90,74	93,50	93,33
	SATI SC	175,51	175,28	176,70	174,25	175,97	173,37	172,57	175,68	174,92
	SATI CC	153,38	153,15	154,60	152,10	153,85	151,19	150,38	153,55	152,78



Tabla 5. 2. Consumos de refrigeración.

Consumo Energía Primaria Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	44,09	31,84	40,27	41,36	43,70	32,82	42,15	40,88	39,64
	SATE SC	25,10	18,39	23,36	24,05	25,15	19,14	24,68	23,82	22,96
	SATE CC	24,87	17,55	23,02	23,78	24,97	18,37	24,47	23,53	22,57
	SATEV SC	25,11	18,40	23,37	24,06	25,15	19,15	24,70	23,88	22,98
	SATEV CC	24,90	17,58	23,05	23,82	25,00	18,40	24,51	23,57	22,60
	SATI SC	37,03	27,95	34,54	35,46	36,65	28,95	36,31	35,18	34,01
	SATI CC	32,96	23,95	30,55	31,47	32,57	24,95	32,31	31,18	29,99
B3 (Valencia)	Base	35,21	25,64	32,19	32,79	35,14	26,72	33,58	33,02	31,79
	SATE SC	19,55	14,56	18,30	18,65	19,73	15,34	19,22	18,90	18,03
	SATE CC	19,66	14,16	18,32	18,71	19,90	15,02	19,34	19,98	18,14
	SATEV SC	19,56	14,57	18,32	18,67	19,74	15,36	19,24	18,95	18,05
	SATEV CC	19,69	14,19	18,36	18,75	19,93	15,06	19,39	19,05	18,05
	SATI SC	29,75	22,72	27,90	28,36	29,71	23,82	29,17	28,75	27,52
	SATI CC	26,70	19,72	24,91	25,38	26,66	20,82	26,18	25,75	24,52
C2 (Barcelona)	Base	21,42	15,75	20,11	20,41	21,52	16,55	20,92	20,77	19,68
	SATE SC	10,89	8,38	10,61	10,76	11,07	8,90	11,10	11,05	10,35
	SATE CC	11,45	8,53	11,15	11,33	11,78	9,15	11,73	11,66	10,85
	SATEV SC	10,89	8,38	10,62	10,77	11,07	8,91	11,11	11,12	10,36
	SATEV CC	11,51	8,59	11,22	11,40	11,84	9,21	11,80	11,81	10,92
	SATI SC	18,72	14,61	18,19	18,42	18,85	15,46	18,96	18,90	17,76
	SATI CC	19,68	14,89	19,10	19,37	19,82	15,89	20,01	19,93	18,59
D3 (Madrid)	Base	32,15	23,84	30,06	33,35	32,18	24,91	33,75	30,91	30,14
	SATE SC	17,41	13,66	16,83	18,89	17,64	14,34	19,14	17,37	16,91
	SATE CC	17,78	13,54	17,16	19,52	18,09	14,32	19,80	17,77	17,25
	SATEV SC	17,42	13,67	16,84	18,91	17,64	14,35	19,16	17,48	16,93
	SATEV CC	17,81	13,57	17,20	19,57	18,12	14,35	19,85	17,89	17,30
	SATI SC	27,23	21,22	26,20	29,41	27,28	22,30	29,81	27,07	26,32
	SATI CC	24,48	18,52	23,51	26,73	24,54	19,60	27,13	24,37	23,61
E1 (Burgos)	Base	4,79	0,00	3,30	3,38	4,89	2,34	3,43	3,38	3,19
	SATE SC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SATE CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SATEV SC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SATEV CC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SATI SC	5,58	3,15	4,60	4,71	5,69	3,27	4,78	4,71	4,56
	SATI CC	8,92	5,07	7,45	7,62	8,95	5,26	7,75	7,63	7,33



Tabla 5. 3. Consumos de refrigeración y calefacción.

Consumo Energía Primaria (Refrigeración + Calefacción) (kWh/m <sup>2</sup> año)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	82,27	69,58	79,33	77,77	82,25	69,03	77,22	79,13	77,07
	SATE SC	31,41	24,52	30,36	29,48	32,03	24,15	29,12	30,22	28,91
	SATE CC	28,23	20,77	26,93	26,44	28,87	20,69	26,34	26,96	25,65
	SATEV SC	31,29	24,40	30,23	29,37	31,90	24,03	29,03	30,14	28,80
	SATEV CC	28,12	20,66	26,82	26,35	28,76	20,59	26,26	26,80	25,55
	SATI SC	55,52	46,21	53,93	52,80	55,50	45,74	52,37	53,79	51,98
	SATI CC	47,31	38,07	45,76	44,71	47,26	37,67	44,32	45,64	43,84
B3 (Valencia)	Base	112,61	102,60	110,66	108,31	112,98	101,87	107,52	110,52	108,38
	SATE SC	40,80	35,57	40,54	38,69	42,04	34,74	37,85	40,28	38,81
	SATE CC	32,67	26,95	32,23	30,61	33,93	26,34	29,96	33,10	30,72
	SATEV SC	40,45	35,22	40,20	38,36	41,69	34,41	37,51	40,09	38,49
	SATEV CC	32,34	26,62	31,91	30,31	33,61	26,03	29,66	31,85	30,29
	SATI SC	74,32	67,02	73,59	71,56	74,72	66,30	70,78	73,47	71,47
	SATI CC	63,14	55,89	62,45	60,48	63,54	55,21	59,71	62,33	60,34
C2 (Barcelona)	Base	128,95	122,86	128,78	126,11	129,52	121,75	124,94	128,42	126,42
	SATE SC	48,02	45,25	48,88	46,53	49,53	43,92	45,25	48,33	46,96
	SATE CC	36,85	33,68	37,61	35,47	38,48	32,58	34,36	37,20	35,78
	SATEV SC	47,58	44,81	48,45	46,11	49,09	43,49	44,82	47,84	46,52
	SATEV CC	36,45	33,29	37,22	35,09	38,09	32,19	33,98	36,78	35,39
	SATI SC	85,33	80,93	86,04	83,55	85,95	79,77	82,33	85,68	83,70
	SATI CC	75,87	70,79	76,53	74,09	76,50	69,78	72,96	76,28	74,10
D3 (Madrid)	Base	183,94	175,30	182,99	183,58	184,43	174,49	182,33	182,84	181,24
	SATE SC	78,53	74,52	79,17	78,63	80,37	73,23	77,15	78,65	77,53
	SATE CC	62,58	58,09	63,13	63,00	64,49	56,99	61,62	62,73	61,58
	SATEV SC	77,96	73,95	78,60	78,08	79,79	72,66	76,59	77,92	76,94
	SATEV CC	62,03	57,54	62,59	62,48	63,94	56,44	61,10	62,01	61,02
	SATI SC	126,30	120,02	126,53	127,06	126,85	119,07	125,67	126,32	124,73
	SATI CC	108,75	102,51	109,06	109,55	109,31	101,53	108,14	108,81	107,21
E1 (Burgos)	Base	254,65	249,65	254,25	252,09	255,18	250,24	250,60	253,39	252,51
	SATE SC	120,74	120,50	121,97	119,44	122,91	118,53	117,71	120,91	120,34
	SATE CC	94,68	94,44	95,92	93,38	96,85	92,46	91,63	94,85	94,28
	SATEV SC	119,88	119,65	121,12	118,59	122,06	117,67	116,85	119,44	119,41
	SATEV CC	93,80	93,56	95,04	92,49	95,97	91,57	90,74	93,50	93,33
	SATI SC	181,09	178,43	181,30	178,96	181,66	176,64	177,35	180,39	179,48
	SATI CC	162,30	158,22	162,05	159,72	162,80	156,45	158,13	161,18	160,11



Para eliminar la influencia de las instalaciones elegidas a continuación se muestran los porcentajes de ahorro conseguido con los diferentes sistemas tomando como referencia el consumo base. Los porcentajes positivos reflejan un aumento del consumo y los negativos una reducción del mismo.

Los ahorros que vienen reflejados para la fila del edificio base son los obtenidos por el cambio de orientación tomando como referencia la orientación sur.

Tabla 5. 4. Variación del consumo de calefacción.

Variación del Consumo Energía Primaria Calefacción respecto a la situación base (%)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	5,44	4,23	7,87	0,55	6,46	0,00	-3,15	5,63	3,86
	SATE SC	-83,47	-83,76	-82,08	-85,09	-82,15	-86,16	-87,34	-83,27	-84,17
	SATE CC	-91,20	-91,47	-89,99	-92,69	-89,88	-93,59	-94,67	-91,03	-91,82
	SATEV SC	-83,81	-84,10	-82,44	-85,42	-82,49	-86,52	-87,65	-83,63	-84,51
	SATEV CC	-91,57	-91,84	-90,35	-93,05	-90,25	-93,95	-95,01	-91,56	-92,20
	SATI SC	-51,57	-51,62	-50,36	-52,38	-51,10	-53,63	-54,21	-51,35	-52,03
	SATI CC	-62,41	-62,59	-61,06	-63,64	-61,89	-64,87	-65,75	-62,20	-63,05
B3 (Valencia)	Base	2,99	2,41	4,42	0,49	3,58	0,00	-1,61	3,13	2,20
	SATE SC	-72,55	-72,70	-71,66	-73,46	-71,34	-74,18	-74,80	-72,41	-72,89
	SATE CC	-83,19	-83,38	-82,27	-84,24	-81,98	-84,94	-85,64	-83,07	-83,59
	SATEV SC	-73,01	-73,17	-72,12	-73,93	-71,80	-74,65	-75,29	-72,72	-73,34
	SATEV CC	-83,66	-83,85	-82,73	-84,69	-82,43	-85,40	-86,11	-83,48	-84,04
	SATI SC	-42,42	-42,44	-41,77	-42,80	-42,18	-43,47	-43,72	-42,30	-42,64
	SATI CC	-52,92	-53,00	-52,16	-53,52	-52,62	-54,24	-54,65	-52,80	-53,24
C2 (Barcelona)	Base	2,21	1,82	3,30	0,48	2,66	0,00	-1,12	2,33	1,67
	SATE SC	-65,47	-65,58	-64,78	-66,16	-64,39	-66,71	-67,17	-65,37	-65,70
	SATE CC	-76,38	-76,52	-75,65	-77,16	-75,28	-77,73	-78,24	-76,27	-76,65
	SATEV SC	-65,88	-65,99	-65,19	-66,57	-64,80	-67,13	-67,59	-65,89	-66,13
	SATEV CC	-76,81	-76,94	-76,07	-77,59	-75,69	-78,16	-78,68	-76,80	-77,09
	SATI SC	-38,05	-38,08	-37,56	-38,38	-37,87	-38,87	-39,08	-37,97	-38,23
	SATI CC	-47,74	-47,81	-47,15	-48,23	-47,52	-48,77	-49,10	-47,65	-48,00
D3 (Madrid)	Base	1,48	1,26	2,24	0,43	1,78	0,00	-0,67	1,57	1,16
	SATE SC	-59,73	-59,82	-59,24	-60,23	-58,80	-60,63	-60,96	-59,67	-59,88
	SATE CC	-70,49	-70,59	-69,94	-71,06	-69,52	-71,47	-71,85	-70,41	-70,67
	SATEV SC	-60,12	-60,20	-59,62	-60,61	-59,18	-61,02	-61,35	-60,22	-60,29
	SATEV CC	-70,87	-70,97	-70,32	-71,44	-69,90	-71,86	-72,24	-70,96	-71,07
	SATI SC	-34,73	-34,77	-34,39	-35,00	-34,60	-35,31	-35,48	-34,67	-34,87
	SATI CC	-44,48	-44,55	-44,06	-44,87	-44,32	-45,23	-45,48	-44,42	-44,68
E1 (Burgos)	Base	0,79	0,71	1,23	0,33	0,96	0,00	-0,29	0,85	0,65
	SATE SC	-51,68	-51,73	-51,40	-51,98	-50,89	-52,19	-52,38	-51,64	-51,73
	SATE CC	-62,11	-62,17	-61,78	-62,45	-61,30	-62,70	-62,93	-62,06	-62,19
	SATEV SC	-52,02	-52,07	-51,74	-52,32	-51,23	-52,53	-52,72	-52,23	-52,11
	SATEV CC	-62,46	-62,52	-62,13	-62,81	-61,66	-63,06	-63,29	-62,60	-62,57
	SATI SC	-29,76	-29,79	-29,59	-29,94	-29,69	-30,06	-30,18	-29,73	-29,84
	SATI CC	-38,61	-38,65	-38,39	-38,84	-38,53	-39,01	-39,16	-38,58	-38,72



Tabla 5. 5. Variación del consumo de refrigeración.

Variación del Consumo Energía Primaria Refrigeración respecto a la situación base (%)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	34,34	-2,99	22,70	26,02	33,15	0,00	28,43	24,56	23,74
	SATE SC	-43,07	-42,24	-41,99	-41,85	-42,45	-41,68	-41,45	-41,73	-42,06
	SATE CC	-43,59	-44,88	-42,84	-42,50	-42,86	-44,03	-41,95	-42,44	-43,14
	SATEV SC	-43,05	-42,21	-41,97	-41,83	-42,45	-41,65	-41,40	-41,59	-42,02
	SATEV CC	-43,52	-44,79	-42,76	-42,41	-42,79	-43,94	-41,85	-42,34	-43,05
	SATI SC	-16,01	-12,22	-14,23	-14,26	-16,13	-11,79	-13,86	-13,94	-14,06
	SATI CC	-25,24	-24,78	-24,14	-23,91	-25,47	-23,98	-23,35	-23,73	-24,32
B3 (Valencia)	Base	31,77	-4,04	20,47	22,72	31,51	0,00	25,67	23,58	21,67
	SATE SC	-44,48	-43,21	-43,15	-43,12	-43,85	-42,59	-42,76	-42,76	-43,24
	SATE CC	-44,16	-44,77	-43,09	-42,94	-43,37	-43,79	-42,41	-39,49	-43,00
	SATEV SC	-44,45	-43,17	-43,09	-43,06	-43,82	-42,51	-42,70	-42,61	-43,18
	SATEV CC	-44,08	-44,66	-42,96	-42,82	-43,28	-43,64	-42,26	-42,31	-43,25
	SATI SC	-15,51	-11,39	-13,33	-13,51	-15,45	-10,85	-13,13	-12,93	-13,26
	SATI CC	-24,17	-23,09	-22,62	-22,60	-24,13	-22,08	-22,04	-22,02	-22,84
C2 (Barcelona)	Base	29,43	-4,83	21,51	23,32	30,03	0,00	26,40	25,50	21,62
	SATE SC	-49,16	-46,79	-47,24	-47,28	-48,56	-46,22	-46,94	-46,80	-47,37
	SATE CC	-46,55	-45,84	-44,55	-44,49	-45,26	-44,71	-43,93	-43,86	-44,90
	SATEV SC	-49,16	-46,79	-47,19	-47,23	-48,56	-46,16	-46,89	-46,46	-47,31
	SATEV CC	-46,27	-45,46	-44,21	-44,15	-44,98	-44,35	-43,59	-43,14	-44,52
	SATI SC	-12,61	-7,24	-9,55	-9,75	-12,41	-6,59	-9,37	-9,00	-9,56
	SATI CC	-8,12	-5,46	-5,02	-5,10	-7,90	-3,99	-4,35	-4,04	-5,50
D3 (Madrid)	Base	29,06	-4,30	20,67	33,88	29,19	0,00	35,49	24,09	24,01
	SATE SC	-45,85	-42,70	-44,01	-43,36	-45,18	-42,43	-43,29	-43,80	-43,83
	SATE CC	-44,70	-43,20	-42,91	-41,47	-43,78	-42,51	-41,33	-42,51	-42,80
	SATEV SC	-45,82	-42,66	-43,98	-43,30	-45,18	-42,39	-43,23	-43,45	-43,75
	SATEV CC	-44,60	-43,08	-42,78	-41,32	-43,69	-42,39	-41,19	-42,12	-42,65
	SATI SC	-15,30	-10,99	-12,84	-11,81	-15,23	-10,48	-11,67	-12,42	-12,59
	SATI CC	-23,86	-22,32	-21,79	-19,85	-23,74	-21,32	-19,61	-21,16	-21,71
E1 (Burgos)	Base	-98,07	-100,00	41,03	44,44	108,97	0,00	46,58	44,44	12,49
	SATE SC	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-87,50
	SATE CC	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-87,50
	SATEV SC	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-87,50
	SATEV CC	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-87,50
	SATI SC	16,49	∞	39,39	39,35	16,36	39,74	39,36	39,35	28,76
	SATI CC	86,22	∞	125,76	125,44	83,03	124,79	125,95	125,74	99,62



Tabla 5. 6. Variación del consumo de refrigeración y calefacción.

Variación del Consumo Energía Primaria (Refrigeración + Calefacción) respecto a la situación base (%)										
Zona Climática	Aislamiento	Orientación								Media
		E	N	NE	NO	O	S	SE	SO	
A3 (Cádiz)	Base	19,18	0,80	14,92	12,66	19,15	0,00	11,86	14,63	13,32
	SATE SC	-61,82	-64,76	-61,73	-62,09	-61,06	-65,02	-62,29	-61,81	-62,57
	SATE CC	-65,69	-70,15	-66,05	-66,00	-64,90	-70,03	-65,89	-65,93	-66,83
	SATEV SC	-61,97	-64,93	-61,89	-62,23	-61,22	-65,19	-62,41	-61,91	-62,72
	SATEV CC	-65,82	-70,31	-66,19	-66,12	-65,03	-70,17	-65,99	-66,13	-66,97
	SATI SC	-32,51	-33,59	-32,02	-32,11	-32,52	-33,74	-32,18	-32,02	-32,59
	SATI CC	-42,49	-45,29	-42,32	-42,51	-42,54	-45,43	-42,61	-42,32	-43,19
B3 (Valencia)	Base	10,54	0,72	8,63	6,32	10,91	0,00	5,55	8,49	7,31
	SATE SC	-63,77	-65,33	-63,37	-64,28	-62,79	-65,90	-64,80	-63,55	-64,22
	SATE CC	-70,99	-73,73	-70,87	-71,74	-69,97	-74,14	-72,14	-70,05	-71,70
	SATEV SC	-64,08	-65,67	-63,67	-64,58	-63,10	-66,22	-65,11	-63,73	-64,52
	SATEV CC	-71,28	-74,05	-71,16	-72,02	-70,25	-74,45	-72,41	-71,18	-72,10
	SATI SC	-34,00	-34,68	-33,50	-33,93	-33,86	-34,92	-34,17	-33,52	-34,07
	SATI CC	-43,93	-45,53	-43,57	-44,16	-43,76	-45,80	-44,47	-43,60	-44,35
C2 (Barcelona)	Base	5,91	0,91	5,77	3,58	6,38	0,00	2,62	5,48	4,38
	SATE SC	-62,76	-63,17	-62,04	-63,10	-61,76	-63,93	-63,78	-62,37	-62,86
	SATE CC	-71,42	-72,59	-70,80	-71,87	-70,29	-73,24	-72,50	-71,03	-71,72
	SATEV SC	-63,10	-63,53	-62,38	-63,44	-62,10	-64,28	-64,13	-62,75	-63,21
	SATEV CC	-71,73	-72,90	-71,10	-72,18	-70,59	-73,56	-72,80	-71,36	-72,03
	SATI SC	-33,83	-34,13	-33,19	-33,75	-33,64	-34,48	-34,10	-33,28	-33,80
	SATI CC	-41,16	-42,38	-40,57	-41,25	-40,94	-42,69	-41,60	-40,60	-41,40
D3 (Madrid)	Base	5,42	0,46	4,87	5,21	5,70	0,00	4,49	4,79	4,42
	SATE SC	-57,31	-57,49	-56,74	-57,17	-56,42	-58,03	-57,69	-56,98	-57,23
	SATE CC	-65,98	-66,86	-65,50	-65,68	-65,03	-67,34	-66,20	-65,69	-66,04
	SATEV SC	-57,62	-57,82	-57,05	-57,47	-56,74	-58,36	-57,99	-57,38	-57,55
	SATEV CC	-66,28	-67,18	-65,80	-65,97	-65,33	-67,65	-66,49	-66,09	-66,35
	SATI SC	-31,34	-31,53	-30,85	-30,79	-31,22	-31,76	-31,08	-30,91	-31,19
	SATI CC	-40,88	-41,52	-40,40	-40,33	-40,73	-41,81	-40,69	-40,49	-40,86
E1 (Burgos)	Base	1,76	-0,24	1,60	0,74	1,97	0,00	0,14	1,26	1,04
	SATE SC	-52,59	-51,73	-52,03	-52,62	-51,83	-52,63	-53,03	-52,28	-52,34
	SATE CC	-62,82	-62,17	-62,27	-62,96	-62,05	-63,05	-63,44	-62,57	-62,67
	SATEV SC	-52,92	-52,07	-52,36	-52,96	-52,17	-52,98	-53,37	-52,86	-52,71
	SATEV CC	-63,17	-62,52	-62,62	-63,31	-62,39	-63,41	-63,79	-63,10	-63,04
	SATI SC	-28,89	-28,53	-28,69	-29,01	-28,81	-29,41	-29,23	-28,81	-28,92
	SATI CC	-36,27	-36,62	-36,26	-36,64	-36,20	-37,48	-36,90	-36,39	-36,60



A continuación se muestran los resultados medios de consumos y ahorros del edificio sin tener en cuenta la zona climática en la que se ubica:

**Tabla 5. 7. Consumos medios y variación los mismos en calefacción.**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción		
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)
Base	124,24	0
SATE SC	48,86	-66,88
SATE CC	35,84	-76,98
SATEV SC	48,37	-67,27
SATEV CC	35,34	-77,39
SATI SC	80,24	-39,52
SATI CC	68,31	-49,54

**Tabla 5. 8. Consumos medios y variación los mismos en refrigeración.**

Consumo medio de Energía Primaria Refrigeración		
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)
Base	24,89	0
SATE SC	13,65	-52,80
SATE CC	13,76	-52,27
SATEV SC	13,66	-52,75
SATEV CC	13,77	-52,19
SATI SC	22,03	-4,14
SATI CC	20,81	5,05

**Tabla 5. 9. Consumos medios y variación los mismos en refrigeración y calefacción.**

Consumo medio de Energía Primaria (Refrigeración + Calefacción)		
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)
Base	149,12	0
SATE SC	62,51	-59,85
SATE CC	49,60	-67,79
SATEV SC	62,03	-60,14
SATEV CC	49,11	-68,10
SATI SC	102,27	-32,11
SATI CC	89,12	-41,28





## 6. Interpretación de los resultados

Una vez obtenidos todos los resultados de los 280 ensayos realizados, procederemos al estudio comparativo de todos ellos para sacar las conclusiones deseadas.

Gracias a este estudio comparativo analizaremos que sistema de aislamiento obtiene mejores resultados y además, aunque no es el objeto del presente trabajo, se puede determinar que parámetros energéticos tienen mayor influencia en la certificación energética global del edificio base, pudiendo así extrapolar los resultados a edificios de nueva construcción de similar distribución en planta y mejorar su eficiencia.

Compararemos los resultados desde dos puntos de vista diferentes, uno puramente energético y otro económico.

### 6.1. Análisis energético

En todos los casos sistemas analizados se ha utilizado el mismo espesor de aislante para comparar realmente los diferentes sistemas y no la cantidad de aislante empleada.

El análisis de los diferentes sistemas se hará en función de las variaciones de la demanda de calefacción, de la demanda de refrigeración y de ambas combinadas. También se realizarán diferentes apuntes sobre los resultados obtenidos.

#### 6.1.1. Demanda de calefacción

De los diferentes sistemas analizados, el sistema que más consigue reducir la demanda de calefacción es el sistema que hemos denominado SATEV con una media de reducción de la demanda de calefacción del 67,27 % si no aislamos la cubierta y del 77,39 % si aislamos la cubierta. Muy de cerca le sigue el sistema SATE con una media de reducción de la demanda de calefacción del 66,88 % si no aislamos la cubierta y del 76,98 % si aislamos la cubierta. Esta pequeña diferencia entre ambos se debe al aplacado exterior del sistema SATEV que impide que el viento incida directamente en la fachada lo que favorecería los fenómenos de disipación por convección. Por último está el sistema denominado SATI con una media de reducción de la demanda de calefacción del 39,52 % si no aislamos la cubierta y del 49,54 % si aislamos también la cubierta. La diferencia de resultados entre este sistema y los anteriores es debido a que hay puentes térmicos importantes como son los



frentes de forjado que con este sistema no conseguimos eliminar y dan lugar a importantes focos de disipación de energía.

En los resultados se aprecia que un foco importante de disipación de la energía aportada al edificio por el sistema de calefacción es la cubierta ya que por ella se pierde aproximadamente el 10 % de la energía aportada al edificio lo cual no es nada despreciable. Esto es debido a que el aire caliente es menos denso que el aire frío y por tanto en las proximidades de la cubierta suele acumularse el aire más caliente del edificio, y esto, combinado con la gran exposición a los agentes atmosféricos a la que está sometida la cubierta da lugar a que se produzcan dichas pérdidas de energía. Por lo tanto el aislar la cubierta debe ser un factor a tener en cuenta para mejorar la eficiencia energética de los edificios si lo que intentamos es reducir la demanda de calefacción.

En los resultados también se puede apreciar que cuanto mayor es la demanda de calefacción, es decir, en zonas climáticas más frías, la eficiencia de los diferentes sistemas se reduce lo cual es lógico puesto que al ser mayor el gradiente de temperaturas entre el interior y el exterior, en las zonas climáticas frías, mayor es la transferencia a pesar de la existencia del aislante.

La orientación también es un factor a tener en cuenta, en edificios con la misma distribución en planta, ya puede suponer de media un aumento del 2 % del consumo de calefacción con respecto a la orientación sur, siendo este factor más importante cuanto más cálida es la zona climática en la que se ubica el edificio, ya que zonas como Cádiz la variación de la orientación puede suponer un aumento de casi el 8 % de la demanda de calefacción del edificio mientras que en zonas como Burgos apenas se produce aumento (0,65 % de media). La orientación óptima para reducir la demanda de calefacción, en edificios con la misma distribución en planta, es la sureste y la más desfavorable la noreste debido a las radiaciones solares recibidas por el edificio en uno u otro caso.

## 6.1.2. Demanda de refrigeración

En este caso, en contra de lo que en un primer momento se pudiera pensar, el sistema que más consigue reducir la demanda de refrigeración es el sistema SATE con una media de reducción de la demanda de calefacción del 52,80 % si no aislamos la cubierta y del 52,27 % si aislamos la cubierta. Muy de cerca le sigue el sistema SATEV con una media de reducción de la demanda de



refrigeración del 52,75 % si no aislamos la cubierta y del 52,19 % si aislamos la cubierta. Esta pequeña diferencia se puede deber a que, a pesar de que una fachada aplacada debería ser más efectiva al reducir la radiación incidente sobre la fachada, en verano la radiación solar es más cenital y su incidencia sobre las fachadas es menor y el aplacado pierde su utilidad y lo que consigue es disminuir la refrigeración natural del edificio por la noche ya que reduce la disipación por convección de la misma al impedir que el viento incida directamente sobre la fachada. Por último está el sistema denominado SATI con una media de reducción de la demanda de refrigeración del 4,14 % si no aislamos la cubierta y un aumento de la demanda de refrigeración del 5,05 % si aislamos la cubierta. Es de especial interés este sistema ya que como se observa la reducción de refrigeración es mínima y si se combina con un aislamiento de la cubierta la demanda puede incluso aumentar, esto puede deberse a que los puentes térmicos durante las horas de exposición solar alcanzan altas temperaturas y por tanto aportan energía calorífica al interior del edificio pero durante la noche el aislamiento impide la refrigeración natural y al ser menor la diferencia de temperaturas los puentes térmicos transfieren menos energía que durante el día.

En este caso en los resultados se aprecia que el aislamiento de la cubierta influye de manera negativa en la demanda de refrigeración en casi todas las zonas climáticas analizadas en función de la orientación, ya que puede llegar a incrementar la demanda en vez de reducirla y esto es debido a que como dijimos en apartados anteriores el aire caliente es menos denso que el frío por lo que se desplaza a las zonas altas del edificio, convirtiéndose la cubierta en un foco de disipación de energía térmica, sobre todo por la noche. Entonces solo conviene aislarla en los casos en los que la transferencia de calor hacia el interior por conducción es mayor que la disipación por convección hacia el exterior. Por lo tanto, si se pretende reducir únicamente la demanda de refrigeración del edificio habrá que estudiar detenidamente si conviene o no aislar la misma ya que dependiendo de la zona climática y orientación puede ser positivo o no.

En este caso se puede apreciar que, independientemente de la demanda de refrigeración, la eficacia de los diferentes sistemas se mantiene más o menos constante de unas zonas climáticas a otras a excepción de las zonas climáticas más frías (Burgos) en que en los sistemas SATE y SATEV la eficacia es mayor que en el resto ya que al ser la demanda de refrigeración muy pequeña se ve reducida por completo y en el caso del sistema SATI en vez de reducir la



demanda de refrigeración la aumenta. Que la eficacia de los diferentes sistemas, a la hora de reducir la demanda de refrigeración, se mantenga más o menos constante, al contrario que en el caso de la demanda de calefacción, se debe a que los gradientes de temperatura entre el interior y el exterior en verano son menores ( 23°C frente a los 33°C del invierno) y no varían tanto de una zona climática a otra ya que la diferencia entre temperaturas máximas entre unas zonas y otras puede ser de unos 7°C siendo por tanto las demandas de refrigeración similares en la mayoría de las zonas climáticas.

La orientación también es un factor muy a tener en cuenta, en edificios con la misma distribución en planta, ya puede suponer de media un aumento del 20 % del consumo de refrigeración con respecto a la orientación sur. La orientación óptima para reducir la demanda de refrigeración, en edificios con la misma distribución en planta, es la norte y las más desfavorables las orientaciones este y oeste debido a las radiaciones solares recibidas por el edificio en uno u otro caso.

### **6.1.3. Demanda combinada (Refrigeración y Calefacción)**

En cuanto a la demanda combinada es el sistema que hemos denominado SATEV el que más consigue reducirla, con una media de reducción de la demanda del 60,14 % si no aislamos la cubierta y del 68,10 % si aislamos la cubierta. Le sigue muy de cerca el sistema SATE con una media de reducción de la demanda combinada del 59,85 % si no aislamos la cubierta y del 67,79 % si aislamos la cubierta. En último lugar está el sistema que denominamos SATI con una media de reducción de la demanda combinada del 32,11 % si no aislamos la cubierta y del 41,28 % si la aislamos.

En este caso en los resultados se aprecia que aislar la cubierta supone de media un ahorro del 8 % de la energía aportada al edificio lo cual no es nada despreciable lo que hace que la cubierta sea un factor importante a tener en cuenta para aumentar la eficiencia energética de los edificios.

Al igual que en el caso de refrigeración, en el caso de la demanda combinada, se puede apreciar que la eficacia de los diferentes sistemas se mantiene más o menos constante de unas zonas climáticas a otras.

La orientación es un factor a tener en cuenta, en edificios con la misma distribución en planta, ya puede suponer de media un aumento del 6 % del



consumo combinado de calefacción y refrigeración con respecto a la orientación sur, siendo este factor más importante cuanto más cálida es la zona climática en la que se ubica el edificio, ya que zonas como Cádiz la variación de la orientación puede suponer, de media, un aumento de casi el 13 % de la demanda del edificio mientras que en zonas como Burgos apenas llega al 1 %. La orientación óptima para reducir la demanda combinada de calefacción y refrigeración, en edificios con la misma distribución en planta, es la sur y las más desfavorables las orientaciones este y oeste debido a las radiaciones solares recibidas por el edificio en uno u otro caso.

## 6.2. Análisis económico

Para el análisis económico de las diferentes soluciones no se ha tenido en cuenta la variación de la demanda de refrigeración. Esto se debe a que no se ha elegido un sistema de refrigeración para el edificio, puesto que en la actualidad es difícil encontrar edificios residenciales que tengan sistema centralizado de refrigeración, más aun edificios del año de construcción del estudiado, y no solo eso sino que, además, es difícil encontrar edificios en los que todas las viviendas dispongan de sistemas de refrigeración y no hablemos ya de sistemas que tengan rendimientos parecidos puesto que estos dependen de la ubicación, tipo de refrigerante, año de fabricación, y un gran etc., por lo tanto se hace imposible fijar un precio realista de la energía que resulte de utilidad para el análisis. Por todo ello solo nos hemos basado en la variación de la demanda de calefacción puesto que es el único sistema definido para el edificio ya que la existencia de calefacciones centrales es más común y los rendimientos de las mismas son más homogéneos en todas las zonas climáticas lo que nos permite fijar un precio realista para el análisis económico. Esto, claro está, perjudica a los resultados obtenidos en zonas climáticas más cálidas pero estos serán conservadores por lo que los ahorros obtenidos en estos casos serán siempre menores que los reales y por tanto siguen siendo datos de gran interés ya que nos ayudan a estimar un periodo de retorno aproximado.

Por todo lo anterior no se ha considerado utilizar la herramienta de análisis económico que facilita el programa CE<sup>3</sup>X y haremos un análisis del periodo de retorno simple de la inversión.

Se han realizado análisis tanto para los valores medios de ahorro de calefacción como para la media de ahorro de calefacción en cada zona climática analizada. Para ello se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:



- El análisis se hace por vivienda para mayor facilidad a la hora de interpretar los resultados.
- El consumo de energía de cada vivienda es el mismo independientemente de su ubicación dentro del edificio y se obtiene de los resultados facilitados por el programa.

$$C_{vivienda} = \frac{C_{Edificio}}{N^{\circ} Viviendas}$$

- El coste de mantenimiento de la nueva fachada, pese a que es menor que el de la actual e incluso nulo, es el mismo que el de la fachada actual.
- En el sistema SATI la superficie a aislar es menor que en los otros sistemas ya que hay zonas que desde el interior es imposible aislar como son los frentes de forjado y otras zonas que se consideran que no se aíslan mediante este sistema como son las superficies ocupadas por las cajas de persianas. Se ha estimado esta reducción de superficie en un 15 % con respecto a los otros sistemas.
- No se consideran las variaciones de los costes de los diferentes sistemas en función de las diferentes zonas climáticas y por tanto se consideran iguales en todas ellas. Los costes se han estimado considerando los costes proporcionados por la base de precios de la construcción <<http://www.generadordeprecios.info>> (2015), los costes incluyen todos los costes elegibles que se comentan más adelante:

**Tabla 6. 1. Coste unitario de los diferentes sistemas analizados.**

Cerramiento	Coste (€/m <sup>2</sup> )
SATE	65
SATEV	130
SATI	30

- Puesto la instalación de andamiajes es un coste importante en la rehabilitación de fachadas, en el análisis económico, se ha considerado también la opción de que la rehabilitación de la fachada se realice cuando se hayan instalados andamios en la misma por otra razón como pueden ser inspecciones técnicas, esto llevaría a ahorrarnos los costes de los andamios que los estimamos, considerando los costes proporcionados por la base de precios de la construcción <<http://www.generadordeprecios.info>> (2015), en 6 €/m<sup>2</sup> de fachada.

- Tampoco se consideran las variaciones de los precios de la energía en función de las zonas climáticas y los valores utilizados para realizar el análisis son los que refleja el IDAE en su "INFORME DE PRECIOS ENERGETICOS: COMBUSTIBLES Y CARBURANTES" con fecha de 21 Julio de 2015.

Con impuestos (*)		
Tipo	€/l	c€/kWh
Gasolina 95	1,321	14,80
Gasóleo A	1,145	11,52
Gasóleo C	0,698	6,50
Gas Licuado Petróleo (motor)	0,659	9,99
	€/t	c€/kWh
Fuelóleo	450,81	4,22

Sin impuestos		
Tipo	€/l	c€/kWh
Gasolina 95	0,630	7,06
Gasóleo A	0,579	5,82
Gasóleo C	0,489	4,55
Gas Licuado Petróleo (motor)	0,512	7,77
	€/t	c€/kWh
Fuelóleo	356,04	3,33

(\*) IVA incl.

Figura 6. 1. Precios de los combustibles a 21/07/2015. Fuente: IDAE

- En análisis también se han tenido en cuenta las subvenciones existentes para estos fines en la fecha de redacción del presente trabajo. A continuación se analizan las subvenciones existentes.

Tipologías de actuación (% s/ coste elegible)	Máximo entrega dineraria sin contraprestación		Máximo préstamo reembolsable
	Ayuda base	Ayuda Adicional por criterio social, eficiencia energética o actuación integrada	
Eficiencia energética.	Tipo 1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica.	30 %	En función del uso del edificio y de acuerdo a lo establecido en Anexo I, para el tipo de actuación. Hasta los límites de la normativa de ayudas de Estado o tasa de cofinanciación FEDER en la Comunidad Autónoma donde radique el proyecto, según el anexo V.
	Tipo 2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación.	20 %	
Energías renovables.	Tipo 3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas.	25 %	65 %
	Tipo 4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas.	30 %	60 %

Figura 6. 2. Cuantía y modalidades de las ayudas. Fuente: BOE-A-2015-4993.



A efectos de graduación de la ayuda adicional establecida en la tabla anterior, se entenderá por:

- a) Criterio social: Tendrán derecho a una ayuda directa adicional por criterio social, según graduación del anexo I, aquellas actuaciones que se realicen en edificios de vivienda que hayan sido calificados definitivamente bajo algún régimen de protección pública, por el órgano competente de la Comunidad Autónoma correspondiente, o bien las actuaciones sean realizadas en edificios de viviendas situados en las Áreas de Regeneración y Renovación Urbanas, de acuerdo con el Plan Estatal de Fomento del Alquiler de Viviendas, la Rehabilitación Edificatoria, y la Regeneración y Renovación Urbanas 2013-2016.
- b) Eficiencia energética: Tendrán derecho a una ayuda directa adicional por mejora de la eficiencia energética, según la graduación del anexo I, aquellas actuaciones que eleven la calificación energética del edificio para obtener una clase energética «A» o «B», en la escala de CO<sub>2</sub>, o bien, incrementen en dos letras la calificación energética de partida, según procedimiento establecido en el Real Decreto 235/2013, de certificación de la eficiencia energética de los edificios. Los edificios de consumo de energía casi nulo serán asimilables a los de clase «A» a los efectos de cálculo de la cuantía de la ayuda.
- c) Actuación integrada: Tendrán derecho a ayuda directa adicional por actuación integrada, los siguientes casos:
  - o Los edificios de uso vivienda que realicen simultáneamente la combinación de dos o más de las siguientes tipologías de actuación:
    1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica.
    2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación.
    3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas.
    4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas.

siendo obligatoriamente una de ellas sobre la envolvente térmica (tipología 1) que suponga una disminución mínima de la demanda global en calefacción y refrigeración del 30%, combinada con otra actuación de la tipología 2 (casos C1, C2, S2 y S3), tipología 3 o tipología 4 sobre la



instalación térmica, que suponga al menos, la sustitución del 60% de la potencia de generación térmica existente. Siendo:

- Casos C1: Reforma de salas de calderas con sustitución de equipos de producción de calor para calefacción y agua caliente sanitaria por otros de alta eficiencia energética.
- Caso C2: Sustitución de equipos de generación térmica que permitan mejorar la eficiencia energética en las instalaciones térmicas de los edificios:
- Caso S2: Instalaciones solares para calefacción, y opcionalmente para producción de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscinas de uso comunitario descubiertas y/o cubiertas.
- Caso S3: Instalaciones solares para calefacción y refrigeración, y opcionalmente para producción de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscinas de uso comunitario descubiertas y/o cubiertas.

Esta ayuda adicional establecida en la tabla anterior hace referencia al Anexo I, el cual, para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica, dispone lo siguiente:

Uso del edificio	% adicional: Criterios sociales	% adicional: Eficiencia Energética			% adicional: Actuación Integrada
		Calificación final A	Calificación final B	Incremento de 2 o más Letras	
Vivienda . . . . .	15 %	15 %	10 %	5 %	20 %
Resto de usos . . .	0 %	15 %	10 %	5 %	20 %

**Figura 6. 3. Valores de la ayuda adicional para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica. Fuente: BOE-A-2015-4993.**

Los porcentajes anteriores son referidos a la suma de costes elegibles correspondientes a esta tipología de actuación, en este caso:

- Los honorarios profesionales satisfechos para la elaboración, por el técnico competente, del certificado de eficiencia energética.
- El coste de gestión de la ayuda, entendiéndose como estos aquellos gastos que el solicitante pudiera satisfacer a una empresa o profesional por llevar a cabo la gestión administrativa y documental de su solicitud ante el IDAE (En ningún caso se admitirá que tales gastos de gestión superen el 4 % del importe de la ayuda otorgada, con un límite de 3.000 €).



- El coste de la redacción de los proyectos técnicos relacionados con las tipologías de actuación objeto de ayuda.
- Los costes de la dirección facultativa de las obras.
- Los costes de ejecución de las obras, e instalaciones en su caso.
- La inversión en equipos efectuada.
- Los costes de ejecución de la instalación, obra civil asociada e instalaciones auxiliares necesarias (andamiajes, grúas, etc.)
- Los costes de redacción del informe que acredite la adecuada realización de las actuaciones.
- No se incluirán licencias, tasas, impuestos o tributos.

El cálculo de la ayuda adicional se realizará sumando el porcentaje de cada uno de los tres criterios según corresponda. En el caso del criterio de eficiencia energética solo se podrá aplicar uno de los tres porcentajes, bien calificación energética A, B o incremento de 2 o más letras.

No hay que olvidar que, como se indicaba anteriormente, la ayuda se limitará, en todo caso, al porcentaje de cofinanciación FEDER, teniendo en cuenta la comunidad autónoma en la que se ubique el edificio sobre el que se va actuar según la tabla del anexo V, dicha tabla se muestra a continuación:

Comunidad/Ciudad Autónoma	Tasa de cofinanciación en % s/ coste subvencionable
Andalucía . . . . .	80
Aragón . . . . .	50
Asturias . . . . .	80
Baleares . . . . .	50
Canarias . . . . .	85
Cantabria . . . . .	50
Castilla-La Mancha . . . . .	80
Castilla y León . . . . .	50
Cataluña . . . . .	50
Ceuta . . . . .	80
Comunidad Valenciana . . . . .	50
Extremadura . . . . .	80
Galicia . . . . .	80
La Rioja . . . . .	50
Madrid . . . . .	50
Melilla . . . . .	80
Murcia . . . . .	80
Navarra . . . . .	50
País Vasco . . . . .	50

Figura 6. 4. Porcentajes de cofinanciación de los fondos FEDER 2014-2020 por CCAA. Fuente: BOE-A-2015-4993.

Por todo lo anterior para el presente trabajo se ha establecido que la subvención otorgada es la mínima para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica que es del 30 % del costes elegible de la actuación, siendo el límite máximo de 6.000 €/vivienda en el caso de edificios en bloque, ya que así los resultados son más conservadores y válidos para la mayoría de los supuestos.

Una vez tenidos en cuenta todos los condicionantes mencionados anteriormente ya estamos en disposición de realizar el análisis económico de las diferentes soluciones estudiadas. A continuación se muestran los resultados para la media del conjunto de zonas climáticas analizadas y para cada una de ellas individualmente.

### 6.2.1. Media de las diferentes zonas climáticas

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 2. Costes y ahorros de energía de calefacción medios.**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	124,24	0	676	-
SATE SC	48,86	-66,88	266	410
SATE CC	35,84	-76,98	195	481
SATEV SC	48,37	-67,27	263	413
SATEV CC	35,34	-77,39	192	484
SATI SC	80,24	-39,52	437	240
SATI CC	68,31	-49,54	372	304

**Tabla 6. 3. Costes y periodo de retorno de la inversión total medios.**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	6,1	4,3
SATE CC	3359	2351	7,0	4,9
SATEV SC	5042	3529	12,2	8,5
SATEV CC	5880	4116	12,1	8,5
SATI SC	989	692	4,1	2,9
SATI CC	1827	1279	6,0	4,2



Tabla 6. 4. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje medios.

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	5,6	3,9
SATE CC	3126	2188	6,5	4,5
SATEV SC	4809	3367	11,6	8,2
SATEV CC	5647	3953	11,7	8,2
SATI SC	989	692	4,1	2,9
SATI CC	1827	1279	6,0	4,2

Como se puede apreciar en los resultados los ahorros en energía de calefacción que se obtienen son importantes obteniéndose por tanto periodos de retorno de la inversión más que aceptables en los casos de los sistemas SATE y SATI.

En el caso del sistema SATEV los periodos de retorno son mayores debido a su mayor coste por la complejidad a la hora de ejecutar dicha solución, sobre todo por la instalación de la estructura portante del aplacado exterior que conforma la fachada ventilada y a que el ahorro energético del mismo no aumenta en demasía con respecto al sistema SATE a pesar de su mayor coste. Pero a pesar de ello al tratarse de soluciones con gran vida útil (hasta 50 años) sigue siendo aceptable el periodo de retorno.

Como vemos, los periodos de retorno se reducen en gran medida si aprovechamos las subvenciones que se facilitan actualmente y si además somos capaces de planificar la actuación para que coincida con otra que estuviese programada como pueden ser las inspecciones técnicas podemos reducir los costes del montaje de andamios al utilizar los que estuviesen instalados.

Por todo lo anterior se observa que para la media de resultados obtenidos para las diferentes zonas climáticas analizadas es muy recomendable realizar este tipo de mejoras puesto que los ahorros energéticos obtenidos son cuantiosos, y eso que solo analizamos la energía consumida en calefacción, lo que ayuda a aliviar la situación económica además de mejorar el entorno debido a las menores emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas.

## 6.2.2. Zona climática A3 (Cádiz)

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 5. Costes y ahorros de energía de calefacción (Cádiz).**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	37,43	0	204	-
SATE SC	5,95	-84,17	32	171
SATE CC	3,08	-91,82	17	187
SATEV SC	5,82	-84,51	32	172
SATEV CC	2,94	-92,20	16	188
SATI SC	17,97	-52,03	98	106
SATI CC	13,85	-63,05	75	128

**Tabla 6. 6. Costes y periodo de retorno de la inversión total (Cádiz).**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	14,7	10,3
SATE CC	3359	2351	18,0	12,6
SATEV SC	5042	3529	29,3	20,5
SATEV CC	5880	4116	31,3	21,9
SATI SC	989	692	9,3	6,5
SATI CC	1827	1279	14,2	10,0

**Tabla 6. 7. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje (Cádiz).**

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	13,4	9,3
SATE CC	3126	2188	16,7	11,7
SATEV SC	4809	3367	27,9	19,6
SATEV CC	5647	3953	30,1	21,1
SATI SC	989	692	9,3	6,5
SATI CC	1827	1279	14,2	10,0



En este caso a pesar de los porcentajes de reducción de la demanda de calefacción son muy altos al ser esta muy baja de por si los ahorros obtenidos son menores lo que da lugar a que los periodos de retorno por lo general sean altos pero posiblemente asumibles en los sistemas SATE y SATI, sobre todo si hacemos uso de subvenciones, haciéndose inviables en el caso del sistema SATEV ya que dan valores de periodo de retorno de hasta 30 años. Esto se debe a que para el análisis solo hemos utilizado la demanda de calefacción y en esta zona climática la demanda refrigeración es una parte importante de los consumos energéticos del edificio y habría que analizarla detenidamente en cada caso particular.

Por todo lo anterior se observa que para esta zona climática si solo tenemos en cuenta demanda de calefacción se puede hacer difícil decidir realizar este tipo de mejoras pero son un buen punto de comienzo para tomar dicha decisión, ya que si analizásemos también la demanda de refrigeración los ahorros energéticos obtenidos serían mayores y el periodo de retorno de la inversión no haría otra cosa que disminuir. Por lo tanto los periodos de retorno obtenidos se pueden considerar los máximos en esta zona climática para los sistemas y tipología de edificio estudiados siendo menores en la realidad ya que también se reduce la demanda de refrigeración y por tanto los costes derivados de la misma.

### 6.2.3. Zona climática B3 (Valencia)

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 8. Costes y ahorros de energía de calefacción (Valencia).**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	76,60	0	417	-
SATE SC	20,78	-72,89	113	304
SATE CC	12,59	-83,59	69	348
SATEV SC	20,44	-73,34	111	306
SATEV CC	12,24	-84,04	67	350
SATI SC	43,95	-42,64	239	178
SATI CC	35,83	-53,24	195	222

**Tabla 6. 9. Costes y periodo de retorno de la inversión total (Valencia).**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	8,3	5,8
SATE CC	3359	2351	9,6	6,7
SATEV SC	5042	3529	16,5	11,5
SATEV CC	5880	4116	16,8	11,7
SATI SC	989	692	5,6	3,9
SATI CC	1827	1279	8,2	5,8

**Tabla 6. 10. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje (Valencia).**

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	7,5	5,3
SATE CC	3126	2188	9,0	6,3
SATEV SC	4809	3367	15,7	11,0
SATEV CC	5647	3953	16,1	11,3
SATI SC	989	692	5,6	3,9
SATI CC	1827	1279	8,2	5,8

En este caso a pesar de tratarse también de una zona climática cálida los periodos de retorno por lo general son aceptables en los sistemas SATE y SATI y asumibles, sobre todo si hacemos uso de subvenciones, en el caso del sistema SATEV. Esto se debe a que en Valencia la demanda de calefacción es aproximadamente el doble que en Cádiz por lo que los ahorros obtenidos son mayores lo que reduce el periodo de retorno de la inversión.

Por tanto se observa que para esta zona climática solo teniendo en cuenta la demanda de calefacción es recomendable realizar este tipo de mejoras ya que solo con la disminución de la demanda de calefacción son rentables y si a eso lo sumamos las reducciones que también se producen en la demanda de refrigeración, pero que no están analizadas económicamente en el presente trabajo, hace que la idea de mejorar la envolvente térmica del edificio sea aún más atractiva.

## 6.2.4. Zona climática C2 (Barcelona)

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 11. Costes y ahorros de energía de calefacción (Barcelona).**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	106,74	0	581	-
SATE SC	36,62	-65,70	199	382
SATE CC	24,93	-76,65	136	445
SATEV SC	36,17	-66,13	197	384
SATEV CC	24,46	-77,09	133	448
SATI SC	65,93	-38,23	359	222
SATI CC	55,51	-48,00	302	279

**Tabla 6. 12. Costes y periodo de retorno de la inversión total (Barcelona).**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	6,6	4,6
SATE CC	3359	2351	7,5	5,3
SATEV SC	5042	3529	13,1	9,2
SATEV CC	5880	4116	13,1	9,2
SATI SC	989	692	4,5	3,1
SATI CC	1827	1279	6,6	4,6

**Tabla 6. 13. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje (Barcelona).**

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	6,0	4,2
SATE CC	3126	2188	7,0	4,9
SATEV SC	4809	3367	12,5	8,8
SATEV CC	5647	3953	12,6	8,8
SATI SC	989	692	4,5	3,1
SATI CC	1827	1279	6,6	4,6

En este caso al tratarse de una zona climática más fría los periodos de retorno son aceptables en los sistemas SATE y SATI y asumibles, sobre todo si hacemos uso de subvenciones, en el caso del sistema SATEV.

Por tanto se observa que para esta zona climática es recomendable realizar este tipo de mejoras puesto que nos ayudan a reducir la energía consumida y por tanto reducir la factura energética.

### 6.2.5. Zona climática D3 (Madrid)

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 14. Costes y ahorros de energía de calefacción (Madrid).**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	151,09	0	823	-
SATE SC	60,62	-59,88	330	493
SATE CC	44,33	-70,67	241	581
SATEV SC	60,01	-60,29	327	496
SATEV CC	43,72	-71,07	238	585
SATI SC	98,41	-34,87	536	287
SATI CC	83,60	-44,68	455	367

**Tabla 6. 15. Costes y periodo de retorno de la inversión total (Madrid).**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	5,1	3,6
SATE CC	3359	2351	5,8	4,0
SATEV SC	5042	3529	10,2	7,1
SATEV CC	5880	4116	10,1	7,0
SATI SC	989	692	3,4	2,4
SATI CC	1827	1279	5,0	3,5



Tabla 6. 16. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje (Madrid).

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	4,6	3,3
SATE CC	3126	2188	5,4	3,8
SATEV SC	4809	3367	9,7	6,8
SATEV CC	5647	3953	9,7	6,8
SATI SC	989	692	3,4	2,4
SATI CC	1827	1279	5,0	3,5

En este caso al tratarse de una zona climática con inviernos más fríos que el de las zonas climáticas anteriormente analizadas los periodos de retorno son aceptables en todos los sistemas, sobre todo si hacemos uso de subvenciones, puesto que los consumos son mayores y por tanto los ahorros también.

Por tanto es muy recomendable realizar este tipo de mejoras puesto que los ahorros energéticos obtenidos son cuantiosos, y eso que solo analizamos la energía consumida en calefacción, y puesto que se trata de una zona climática continental, lo que da lugar a una gran variación de las temperaturas en función de la estación, también se verá reducida en gran medida la demanda de refrigeración lo que no hace sino que sea aún más recomendable mejorar la envolvente térmica del edificio ya que no solo nos ayuda a reducir la factura energética sino a mejorar la situación de confort en la vivienda.

## 6.2.6. Zona climática E1 (Burgos)

Los resultados del análisis económico en este caso son los siguientes:

**Tabla 6. 17. Costes y ahorros de energía de calefacción (Burgos).**

Consumo medio de Energía Primaria Calefacción			Coste Energía	Ahorro
Aislamiento	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Variación consumo (%)	€ vivienda/año	€ vivienda/año
Base	249,32	0	1357	-
SATE SC	120,34	-51,73	655	702
SATE CC	94,28	-62,19	513	844
SATEV SC	119,41	-52,11	650	707
SATEV CC	93,33	-62,57	508	849
SATI SC	174,92	-29,84	952	405
SATI CC	152,78	-38,72	832	526

**Tabla 6. 18. Costes y periodo de retorno de la inversión total (Burgos).**

Aislamiento	Coste rehabilitación andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2521	1765	3,6	2,5
SATE CC	3359	2351	4,0	2,8
SATEV SC	5042	3529	7,1	5,0
SATEV CC	5880	4116	6,9	4,8
SATI SC	989	692	2,4	1,7
SATI CC	1827	1279	3,5	2,4

**Tabla 6. 19. Costes y periodo de retorno de la inversión sin el coste del andamiaje (Burgos).**

Aislamiento	Coste rehabilitación sin andamios incluidos		Periodo de retorno (años)	
	€/vivienda sin subvención	€/vivienda con subvención	Sin subvención	Con subvención
Base	-	-	-	-
SATE SC	2288	1602	3,3	2,3
SATE CC	3126	2188	3,7	2,6
SATEV SC	4809	3367	6,8	4,8
SATEV CC	5647	3953	6,7	4,7
SATI SC	989	692	2,4	1,7
SATI CC	1827	1279	3,5	2,4



En este caso al tratarse de una zona climática fría los periodos de retorno son más que aceptables en todos los sistemas incluso sin considerar las subvenciones.

En el caso del sistema SATI se observaba anteriormente que su instalación podía conllevar un aumento de la demanda de refrigeración del edificio, pero dicho aumento es prácticamente despreciable lo que da lugar a que en la realidad no se requiera sistema de refrigeración en las viviendas y por lo tanto no se verían afectados los periodos de retorno de este sistema.

Se pone de manifiesto por tanto que en zonas climáticas frías no solo es muy recomendable realizar este tipo de mejoras si no que debería de ser casi obligatorio en edificios de antigua construcción que no dispongan de aislamiento, puesto que gracias a los ahorros energéticos obtenidos la inversión se ve amortizada en pocos años y por tanto los beneficios económicos son cuantiosos lo que ayuda a reducir considerablemente la factura energética y por tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al menor consumo de combustibles.

## 7. Resultados de la versión 2.1 de CE<sup>3</sup>X

Durante la redacción del presente trabajo apareció una nueva versión (2.1) del programa CE<sup>3</sup>X, y, aunque todavía se encuentra en periodo de pruebas y no tienen carácter oficial los certificados obtenidos con ella, consideramos que es adecuado comparar los resultados de esta nueva versión con los obtenidos con la versión utilizada puesto que, si posteriormente esta versión es validada, será la utilizada para la certificación energética y, por tanto, las variaciones en los resultados que se pudiesen dar con respecto a la versión utilizada en el presente trabajo afectarían al contenido del mismo. Para ello únicamente se compararán los resultados obtenidos para cada zona climática en una sola orientación (sur), ya que comparar las 280 simulaciones realizadas nos parece excesivo y no es el objeto de este trabajo.

Los cambios implementados en esta nueva versión son los siguientes:

- Nuevas zonas climáticas
- Nuevos coeficientes de paso
- Cambios en la escala de calificación
- Implementación del consumo de ACS en residencial (Según CTE DB HE-4)
- Implementación de la ventilación en residencial (Según CTE DB HS-3)
- Nuevos valores por defecto (Envolvente/Instalaciones)
- Nuevos sistemas de referencia en caso de inmuebles sin instalaciones de climatización
- Cambios en la definición de las medidas de mejora
- Nuevos informes de salida.

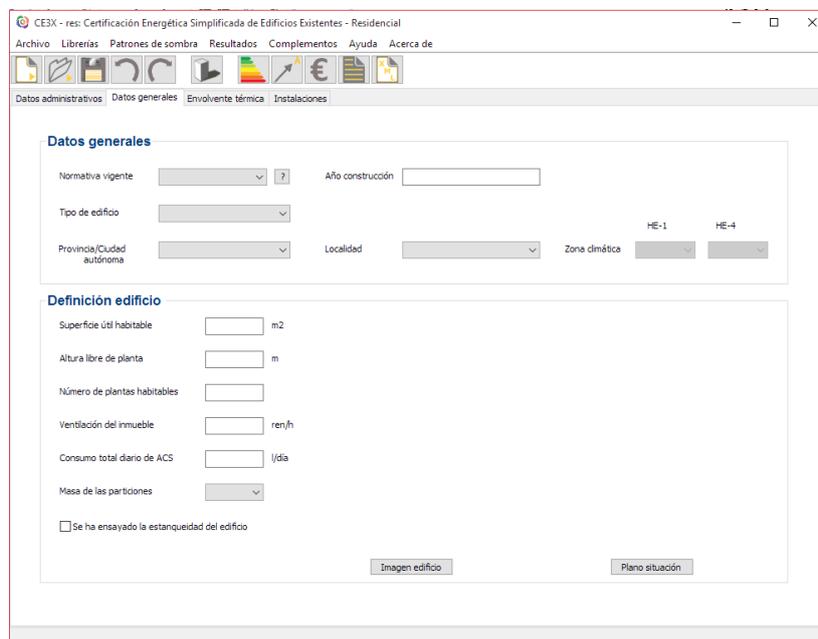


Figura 7. 1. Interfaz del programa CE<sup>3</sup>X 2.1.



A continuación se muestran los resultados obtenidos de la comparación de las dos versiones:

**Tabla 7. 1. Comparación de los resultados de calefacción de las versiones 1.3 y 2.1 de CE<sup>3</sup>X.**

Consumo Energía Primaria Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)				
Zona Climática	Aislamiento	V 1.3	V 2.1	Variación (%)
A3 (Cádiz)	Base	36,21	50,85	40,43
	SATE SC	5,01	11,08	121,16
	SATE CC	2,32	5,89	153,88
	SATEV SC	4,88	10,74	120,08
	SATEV CC	2,19	5,74	162,10
	SATI SC	16,79	29,65	76,59
	SATI CC	12,72	24,57	93,16
B3 (Valencia)	Base	75,15	78,55	4,52
	SATE SC	19,40	25,11	29,43
	SATE CC	11,32	17,24	52,30
	SATEV SC	19,05	24,68	29,55
	SATEV CC	10,97	16,84	53,51
	SATI SC	42,48	50,79	19,56
	SATI CC	34,39	44,07	28,15
C2 (Barcelona)	Base	105,20	143,25	36,17
	SATE SC	35,02	62,54	78,58
	SATE CC	23,43	49,35	110,63
	SATEV SC	34,58	61,96	79,18
	SATEV CC	22,98	48,70	111,92
	SATI SC	64,31	100,95	56,97
	SATI CC	53,89	90,25	67,47
D3 (Madrid)	Base	149,58	200,58	34,10
	SATE SC	58,89	94,40	60,30
	SATE CC	42,67	75,69	77,38
	SATEV SC	58,31	93,61	60,54
	SATEV CC	42,09	74,88	77,90
	SATI SC	96,77	144,39	49,21
	SATI CC	81,93	129,96	58,62
E1 (Burgos)	Base	247,90	256,57	3,50
	SATE SC	118,53	127,84	7,85
	SATE CC	92,46	104,88	13,43
	SATEV SC	117,67	126,92	7,86
	SATEV CC	91,57	103,91	13,48
	SATI SC	173,37	187,89	8,38
	SATI CC	151,19	169,75	12,28



Tabla 7. 2. Comparación de los resultados de refrigeración de las versiones 1.3 y 2.1 de CE<sup>3</sup>X.

Consumo Energía Primaria Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)				
Zona Climática	Aislamiento	V 1.3	V 2.1	Variación (%)
A3 (Cádiz)	Base	32,82	11,25	-65,72
	SATE SC	19,14	11,30	-40,96
	SATE CC	18,37	10,83	-41,05
	SATEV SC	19,15	11,24	-41,31
	SATEV CC	18,40	10,78	-41,41
	SATI SC	28,95	10,05	-65,28
	SATI CC	24,95	9,31	-62,69
B3 (Valencia)	Base	26,72	11,45	-57,15
	SATE SC	15,34	11,48	-25,16
	SATE CC	15,02	11,04	-26,50
	SATEV SC	15,36	11,43	-25,59
	SATEV CC	15,06	10,99	-27,03
	SATI SC	23,82	10,42	-56,26
	SATI CC	20,82	9,91	-52,40
C2 (Barcelona)	Base	16,55	3,18	-80,79
	SATE SC	8,90	3,24	-63,60
	SATE CC	9,15	3,53	-61,42
	SATEV SC	8,91	3,21	-63,97
	SATEV CC	9,21	3,50	-62,00
	SATI SC	15,46	2,37	-84,67
	SATI CC	15,89	1,89	-88,11
D3 (Madrid)	Base	24,91	11,36	-54,40
	SATE SC	14,34	11,70	-18,41
	SATE CC	14,32	11,20	-21,79
	SATEV SC	14,35	11,66	-18,75
	SATEV CC	14,35	11,15	-22,30
	SATI SC	22,30	10,75	-51,79
	SATI CC	19,60	10,17	-48,11
E1 (Burgos)	Base	2,34	0,00	-100,00
	SATE SC	0,00	0,00	0,00
	SATE CC	0,00	0,00	0,00
	SATEV SC	0,00	0,00	0,00
	SATEV CC	0,00	0,00	0,00
	SATI SC	3,27	0,00	-100,00
	SATI CC	5,26	0,00	-100,00



Tabla 7. 3. Comparación de los resultados de refrigeración y calefacción de las versiones 1.3 y 2.1 de CE<sup>3</sup>X.

Consumo Energía Primaria (Refrigeración + Calefacción) (kWh/m <sup>2</sup> año)				
Zona Climática	Aislamiento	V 1.3	V 2.1	Variación (%)
A3 (Cádiz)	Base	69,03	62,10	-10,04
	SATE SC	24,15	22,38	-7,33
	SATE CC	20,69	16,72	-19,19
	SATEV SC	24,03	21,98	-8,53
	SATEV CC	20,59	16,52	-19,77
	SATI SC	45,74	39,70	-13,21
	SATI CC	37,67	33,88	-10,06
B3 (Valencia)	Base	101,87	90,00	-11,65
	SATE SC	34,74	36,59	5,33
	SATE CC	26,34	28,28	7,37
	SATEV SC	34,41	36,11	4,94
	SATEV CC	26,03	27,83	6,92
	SATI SC	66,30	61,21	-7,68
	SATI CC	55,21	53,98	-2,23
C2 (Barcelona)	Base	121,75	146,43	20,27
	SATE SC	43,92	65,78	49,77
	SATE CC	32,58	52,88	62,31
	SATEV SC	43,49	65,17	49,85
	SATEV CC	32,19	52,20	62,16
	SATI SC	79,77	103,32	29,52
	SATI CC	69,78	92,14	32,04
D3 (Madrid)	Base	174,49	211,94	21,46
	SATE SC	73,23	106,10	44,89
	SATE CC	56,99	86,89	52,47
	SATEV SC	72,66	105,27	44,88
	SATEV CC	56,44	86,03	52,43
	SATI SC	119,07	155,14	30,29
	SATI CC	101,53	140,13	38,02
E1 (Burgos)	Base	250,24	256,57	2,53
	SATE SC	118,53	127,84	7,85
	SATE CC	92,46	104,88	13,43
	SATEV SC	117,67	126,92	7,86
	SATEV CC	91,57	103,91	13,48
	SATI SC	176,64	187,89	6,37
	SATI CC	156,45	169,75	8,50



Como se puede apreciar a primera vista, la variación de los resultados de una versión a otra es importante y por ello en esta nueva versión se han tenido que variar los límites inferior y superior de la escala de calificación para que esta sea la misma con una versión u otra.

Con respecto a la demanda de calefacción vemos que, en la nueva versión, en todos los casos los consumos aumentan en gran medida siendo estos aumentos de menor importancia en las regiones más frías y muy significativos en las regiones más cálidas. De validarse esta versión, estos resultados favorecerían la viabilidad económica de los sistemas analizados puesto que se supone que los resultados de esta nueva versión serán más fiables que los de la versión anterior y se aproximarán más a los consumos reales, y al ser los consumos energéticos proporcionados por la nueva versión mayores que los de la versión anterior esto supone que los ahorros también serían mayores lo que reduciría el periodo de retorno de la inversión.

Con respecto a la demanda de refrigeración vemos que esta varía en gran medida con respecto a la versión anterior y esto se debe al uso de nuevos sistemas de referencia en el caso de inmuebles sin instalaciones de climatización definidas como es nuestro caso. Lo que nos llama la atención es que a pesar de mejorar la eficiencia de la envolvente térmica esta demanda de referencia apenas varía y puesto que todavía no está validada esta versión ni disponible la documentación técnica de la nueva versión no sabemos a qué se puede deber esto ya que en la versión antigua sí que se veía afectada la demanda de referencia si se modificaban las condiciones de la envolvente térmica.

Puesto que en la nueva versión las demandas de calefacción se ven aumentadas y las de refrigeración disminuidas en el conjunto de ambas las variaciones son menos significativas por lo que si solo nos fijásemos en este dato, podríamos llegar a pensar que los resultados no varían apenas de una versión a otra cuando esto no es así ya que hay variaciones significativas entre versiones.





## 8. Conclusiones

La idea de este trabajo surgió de una visita al barrio de la Rondilla de Valladolid en el que se habían realizado rehabilitaciones en varios edificios para mejorar la envolvente térmica de los mismos ya que, a pesar de estar a escasos metros unos edificios de otros, los sistemas utilizados en cada uno de ellos eran diferentes, principalmente los definidos en el presente proyecto como SATE y SATEV. Por tanto nos preguntamos en que se basaban para decantarse por un sistema u otro, estética, economía, eficiencia,... y puesto que el máster trata de eso, de energía, su generación, gestión y uso eficiente decidimos comprobar si realmente hay un sistema más eficiente que el resto independientemente de las condiciones. Para ello elegimos tres sistemas, dos de ellos eran los observados en la visita y un tercero que difiere bastante de los anteriores al realizarse por el interior, pero que nos pareció interesante por ser una solución que se puede emplear si la fachada está protegida y no se puede modificar y que además permite el aislamiento de una única vivienda.

Después nos quedaba elegir que tipología de edificio era la que íbamos a usar de referencia y para ello nos referimos al IDAE ya que en su documento *Escala de calificación energética. Edificios existentes*. analiza la distribución del parque de edificios existente en Madrid en la cual se observa que los edificios de 4 a 6 plantas construidos entre 1940 y 1980 es el grueso de los edificios existentes y por tanto nos decantamos por un edificio de esos años, en un principio teníamos pensado analizar varios edificios diferentes para ver como afectaba la tipología del mismo pero debido al volumen de trabajo que requeriría dicho análisis se descartó esa opción. De dicho documento también obtuvimos las características constructivas del mismo así como los rendimientos del sistema de calefacción.

Una vez decidido lo anterior teníamos que determinar los factores que íbamos a considerar para el análisis y consideramos que eran importantes la orientación, la zona climática, además de las propias características del cerramiento. Para no desvirtuar los resultados decidimos emplear el mismo espesor de aislante en cada sistema para que del análisis se desprendiera si un sistema es mejor que otro solo por sus características y no por la cantidad de aislante empleado. También consideramos interesante analizar la repercusión del aislamiento de la cubierta ya que en los edificios observados también había algunos con ella aislada y otros que no. No consideramos la sustitución de las ventanas ya que para que esto fuese de interés habría que elegir diferentes tipos y esto hubiese aumentado enormemente el número de simulaciones a realizar.

Por último, ya elegido el edificio, los sistemas de mejora de la envolvente térmica a analizar y las variables a considerar solo nos quedaba decidir que herramienta utilizar. Nos



decantamos por CE<sup>3</sup>X por ser un programa fácil de manejar y que nos permitía considerar todos los factores que queríamos analizar. Además se trata de un programa muy extendido para realizar la certificación energética de edificios existentes ya que esta validado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y por tanto los resultados obtenidos del análisis se pueden aplicar a certificaciones realizadas anteriormente a la hora de determinar la eficacia de una posible mejora de la envolvente térmica.

De los resultados de las simulaciones y del análisis se puede determinar que es mejor aislar por el exterior que por el interior ya que así eliminamos la mayoría de los puentes térmicos y por tanto reducimos en mayor medida las pérdidas de energía y que de los sistemas analizados el más eficaz es el sistema SATEV pero no por ello el más eficiente puesto que con el sistema SATE se consiguen ahorros parecidos a un menor coste y con el sistema SATI se consiguen ahorros menores pero con un coste mucho menor. Por todo ello consideramos que el sistema más eficiente de los analizados es el sistema SATE ya que se consiguen grandes ahorros con unos costes moderados y le seguiría el sistema SATI aunque en nuestra opinión solo lo emplearíamos si la solución SATE no es posible, por las molestias que causa su implementación (reducción del espacio habitable y obras en el interior de la vivienda) o si se quiere aislar una única vivienda. Por tanto el sistema SATEV, a la vista de los resultados, pese a ser el sistema más eficaz, sería el menos eficiente por su elevado coste y solo lo emplearíamos en el caso de que fuese necesario este sistema para evitar problemas de humedades o por razones estéticas.

Del presente trabajo se desprende que mejorar la eficiencia energética de la envolvente térmica de los edificios es una actuación atractiva tanto desde un punto de vista energético como económico y, por lo tanto, debería ser considerada en las comunidades de vecinos, sobre todo las de edificios construidos con anterioridad a 1980 ya que pueden suponer grandes ahorros para las mismas. Además en la actualidad hay subvenciones destinadas a este fin lo que hace más atractiva la idea. Es importante considerar realizar la mejora de la envolvente térmica del edificio coincidiendo con otra actuación destinada a reducir el consumo energético del edificio, como por ejemplo la sustitución de la caldera, puesto que en esos casos aumenta considerablemente la cuantía de la subvención.

Hay que tener en cuenta que para el análisis económico solo hemos considerado la energía consumida en calefacción y aun así los resultados son favorables, por lo que si hay sistemas de refrigeración en el edificio o en las viviendas los ahorros obtenidos serán mayores mejorando por tanto los periodos de retorno de la inversión y puesto que hoy en día aumentan cada vez más las exigencias de confort térmico por parte de los usuarios demandando cada vez más sistemas de refrigeración una alternativa a estos en puede ser la mejora de la envolvente térmica del edificio.



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES SISTEMAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICIOS EXISTENTES.**



Los resultados del análisis económico han sido obtenidos utilizando los precios actuales del combustible, los cuales, son bastante bajos (0,70 €/l de gasóleo C) para la tendencia actual, por lo que si sube el precio de los mismos los ahorros serían mayores y por tanto sería más interesante aun la idea de mejorar la eficiencia de la envolvente térmica del edificio.

No hay que olvidar que los resultados obtenidos son únicamente válidos para edificios cuya tipología y construcción se asemeje a los del edificio estudiado pero pueden ayudarnos a hacernos una idea de la efectividad de este tipo de sistemas en otros edificios y, por tanto, ser un punto de partida a la hora de decidirnos si llevar a cabo o no la mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica de nuestro edificio.





## 9. Acerca de este trabajo fin de máster

### 9.1. Bibliografía

#### DOCUMENTOS

Agencia Internacional de Energía, 2007. *Manual de Estadísticas Energéticas* [en línea]. Disponible en:

[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics\\_manual\\_spanish.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual_spanish.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

ATECYR; IVE, 2013. *Manual de usuario CERMA v.2.4 (julio 2013)* [en línea]. Disponible en:

[http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual%20de%20usuario%20CERMA%20V\\_2013\\_07.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual%20de%20usuario%20CERMA%20V_2013_07.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

BP, 2015. *BP Statistical Review of World Energy June 2015* [en línea]. Disponible en:

<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf> [Fecha última consulta 30/08/2015].

Capote Soares, J., 2010. *Certificación Energética de Edificios Cuadro normativo Europeo y su Influencia en la Arquitectura Contemporánea* [en línea]. Disponible en:

[http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13679/Capote\\_Joana\\_Tesina.pdf](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13679/Capote_Joana_Tesina.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

EnerAgen, 2007. *Rendimiento de las Instalaciones Térmicas y demanda energética de los Edificios* [en línea]. Disponible en:

[http://www.pamplona.es/pdf/guia\\_instalaciones\\_termicas.pdf](http://www.pamplona.es/pdf/guia_instalaciones_termicas.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

*Energiplan & dokumentation* [en línea]. Disponible en:

<http://www.robinhus.dk/upload/energimaerke/34083.pdf> [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2007. *Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)* [en línea]. Disponible en:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10540\\_Comentarios\\_RITE\\_GT7\\_07\\_2200d691.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Comentarios_RITE_GT7_07_2200d691.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].



IDAE, 2008. *CALENER-GT: Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. El aislamiento, la mejor solución* [en línea]. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10501\\_Guia\\_practica\\_rehabilitacion\\_edificios\\_aislamiento\\_5266ec2a.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10501_Guia_practica_rehabilitacion_edificios_aislamiento_5266ec2a.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2009. *CALENER-GT: Grandes edificios terciarios. Manual de Referencia* [en línea]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerGT1/Manual%20Referencia.pdf> [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2009. *CALENER-GT: CALENER-GT: Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico* [en línea]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerGT1/Manual%20Tecnico.pdf> [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2009. *CALENER-GT: Grandes Edificios Terciarios. Manual de Usuario* [en línea]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerGT1/manual%20de%20Usuario.pdf> [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2009. *CALENER-VYP: Viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. Manual de Usuario* [en línea]. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerVYP1/Manual\\_de\\_usuario.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerVYP1/Manual_de_usuario.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2011. *Escala de calificación energética. Edificios existentes* [en línea]. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Escala\\_Calif%20Edif%20Existentes\\_accesible.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Escala_Calif%20Edif%20Existentes_accesible.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2011. *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020* [en línea]. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11905\\_PAEE\\_2011\\_2020\\_A2011\\_A\\_a1e6383b.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].

IDAE, 2012. *Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE<sup>3</sup>X* [en línea]. Disponible en: [http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual\\_usuario%20CE3X\\_05.pdf](http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual_usuario%20CE3X_05.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].



- IDAE, 2012. *Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3* [en línea]. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual\\_fundamentos\\_tecnicos\\_CE3\\_03.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual_fundamentos_tecnicos_CE3_03.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- IDAE, 2012. *Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE<sup>3</sup>X* [en línea]. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual\\_fundamentos\\_tecnicos\\_CE3X\\_05.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/Manual_fundamentos_tecnicos_CE3X_05.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- IDAE, 2012. *Manual de Usuario del programa de calificación energética de edificios existentes CE3* [en línea]. Disponible en: [http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3/Manual\\_usuario%20CE3\\_PROVISIONAL.pdf](http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3/Manual_usuario%20CE3_PROVISIONAL.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- IDAE, 2012. *Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios* [en línea]. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_12300\\_Guia\\_SATE\\_A2012\\_accessibleدان\\_df06746b.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12300_Guia_SATE_A2012_accessibleدان_df06746b.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- IDAE, 2015. *INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS: COMBUSTIBLES Y CARBURANTES Datos a 21 de julio de 2015* [en línea]. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Combustibles\\_y\\_carburantes\\_julio\\_2015\\_6fc7c489.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Combustibles_y_carburantes_julio_2015_6fc7c489.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- ISOVER, 2015. *Aislamiento de Fachadas: Soluciones ISOVER para Obra Nueva y Rehabilitación* [en línea]. Disponible en: <http://www.isover.es/content/download/4209/25418/version/4/file/Aislamiento-Fachadas-Exterior.pdf> [Fecha última consulta 18/06/2015].
- Montero Homs, S., 2009. *Eficiencia energética de Edificios Residenciales* [en línea]. Disponible en: [http://www.innocons.cat/99\\_pdf/gp5.pdf](http://www.innocons.cat/99_pdf/gp5.pdf) [Fecha última consulta 30/08/2015].
- OECD/IEA. (2014). *ENERGY STATISTICS OF OECD COUNTRIES*. Paris: IEA.
- Rey Martínez, F.J.; Velasco Gómez, E. (2005). *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. Madrid: Paraninfo.
- Rey Martínez, F.J.; Velasco Gómez, E. (2005). *Eficiencia energética en edificios, Certificación y auditorías energéticas*. Madrid: Thomson.



#### PAGINAS WEB

<http://www.acuatroarquitectos.com/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.boe.es/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.cmbburgos.es/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.energie-conseil.be/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.espaciosabierto.com> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.generadordeprecios.info/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.idae.es/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.minetur.gob.es/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.nationalsaps.co.uk/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

<http://www.robinhus.dk/> [Fecha última consulta 30/08/2015]

#### NORMATIVA

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Y sus posteriores modificaciones.

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Y sus posteriores modificaciones.

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Y sus posteriores modificaciones.

Resolución de 28 de abril de 2015, del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, por la que se publica la Resolución de 24 de marzo de 2015, del Consejo de Administración, por la que se modifican las bases reguladoras y convocatoria del programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes del sector residencial (uso vivienda y hotelero).



## 9.2. Autoría

El autor del trabajo es el alumno Pablo Caballero San Segundo bajo la supervisión del profesor Eloy Velasco Gómez.

Este trabajo queda encuadrado como último requisito para finalizar el master en Energía: Generación, Gestión y Uso Eficiente, perteneciente a la Universidad de Valladolid. Es un trabajo académico con perfil profesional.





