



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de la mejora energética de una vivienda
en función de su envolvente térmica

Analysis of a house energy improvement based
on its thermal envelope

Autor

Patricia Recasens Lafuente

Director

Javier Domínguez Hernández

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2017/2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. _____,

con nº de DNI _____ en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
_____, (Título del Trabajo)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, _____

Fdo: _____

Análisis de la mejora energética de una vivienda en función de su envolvente térmica

Resumen

La Directiva Europea 2018/844 establece que para el año 2050 las emisiones de gases de efecto invernadero se deben reducir un 80-95 % respecto a 1990. Gran parte del consumo de energía primaria se produce por el consumo generado por los edificios debido a la energía que necesitan para satisfacer necesidades como calefacción y refrigeración, por ello es necesaria la realización de viviendas eficientes con el mínimo consumo energético.

Se realiza una evaluación energética de un edificio y de una vivienda de este, que se considera tipo, de un proyecto real de viviendas. Para ello se modela la envolvente constructiva en el programa CYPECAD MEP y se exporta a la herramienta oficial HULC donde se introducen las instalaciones y se obtiene la certificación energética.

Ante la imposibilidad de analizar el edificio completo debido a su complejidad se realiza un estudio de la vivienda para ver la importancia que tiene la envolvente térmica en la certificación energética. El estudio se centra en el aislante la envolvente, ya que la solución constructiva de la vivienda es de las prácticas constructivas más habituales. Se realizan variaciones tanto del tipo de aislante como del espesor de este, estudiando también combinaciones de espesores.

Se obtiene la certificación energética de la vivienda para cada variación de aislante y se observa que variando solo el aislante de la envolvente no se va a llegar a conseguir un nivel A de eficiencia energética. Aunque sí se consigue pasar del nivel C del que se partía a un nivel B el cual es el ofrecido por la mayoría de promotores de nuestra ciudad, sin suponer este cambio un gran coste económico.

Para obtener un nivel A de eficiencia energética habrá que simultanear la variación de aislante con otros cambios en la envolvente térmica así como mejorar las instalaciones de calefacción y refrigeración utilizando otras con mejores rendimientos.

Índice

1. Objetivo y alcance del TFG.....	2
2. Marco normativo	4
3. Herramientas informáticas utilizadas	6
4. Evaluación del edificio	7
4.1. Descripción del edificio y sus instalaciones.....	7
4.2. Certificación energética del edificio	9
5. Evaluación de la vivienda tipo.....	13
5.1. Descripción de la vivienda tipo y sus instalaciones	13
5.2. Certificación energética de la vivienda tipo	14
6. Estudio comparativo de aislantes en el cerramiento.....	19
7. Conclusiones.....	30
8. Líneas de trabajo futuras.....	32
9. Bibliografía.....	33

Anexos

Anexo I. Instalaciones.....	2
Anexo II. Archivos generados por CYPECAD MEP.....	25
Anexo III. Archivos generados por HULC.....	71

1. Objetivo y alcance del TFG

La Unión Europea se ha comprometido a establecer un sistema energético, sostenible, competitivo y descarbonizado de aquí a 2050, fecha en la que quiere que se hayan reducido las emisiones de gases de efecto invernadero en un 80-95 % en comparación con 1990.¹

En España un 20 %² del consumo total de energía primaria se produce por el consumo generado por los edificios debido a la energía que necesitan para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, disponibilidad de agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, cocción, lavado, conservación de los alimentos, ofimática, etc., en condiciones normales de uso.

En la Unión Europea este porcentaje aumenta y los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía y del 36% de emisiones de CO₂ a la atmósfera³. El sector se encuentra en fase de expansión, lo que hará aumentar el consumo de energía. Por ello, la reducción del consumo de energía y el uso de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión Europea y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El trabajo parte de un proyecto de una promoción de viviendas real de donde se estudia uno de los bloques de edificios que lo compone y una vivienda perteneciente a este que se ha considerado tipo. Este proyecto se comenzó a diseñar en el año 2009 pero fue paralizado debido a la crisis económica del sector. Ahora se plantea su reanudación con los nuevos requisitos normativos. El proyecto está siendo llevado a cabo por el área de conocimiento de ingeniería de la construcción de la Universidad de Zaragoza.

Se realiza una evaluación energética del edificio entero obteniendo un certificado en el cual se clasifica la edificación con una etiqueta que variará desde la clase A hasta la clase G, siendo la clase A la más eficiente y la clase G la menos eficiente. Todos los certificados se obtendrán con la herramienta oficial HULC⁴.

¹ Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018

² Según Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio para la Transición Ecológica.

³ Datos de la Comisión Europea

⁴ Herramienta Unificada LIDER-Calener (HULC) de carácter público promovida por el Ministerio para la Transición Ecológica.

Análogamente al cálculo del certificado del edificio se realiza la evaluación energética de la vivienda tipo que se considerará como base de partida a la que se le realizarán los posteriores cambios en la envolvente térmica.

El mayor gasto de energía en los edificios se debe a los producidos por la calefacción de este, lo que conlleva que tener una buena envolvente térmica sea fundamental para reducir al mínimo las pérdidas que se puedan producir por la envolvente y los huecos. Por esta razón el presente trabajo se centra en la envolvente térmica, concretamente el aislamiento, cambiando tanto el tipo de aislante como sus espesores viendo cómo influye este en la eficiencia total de la vivienda clasificándolo mediante el certificado de eficiencia como se ha hecho anteriormente con el edificio y la vivienda inicial.

A la vez que se realizan los cambios en la envolvente se van cuantificando económicamente para poder relacionarlos con el nivel de eficiencia que obtienen y así al final poder determinar la cuantía que supone un cambio de nivel en la etiqueta de la certificación energética.

En resumen el objetivo de este trabajo es la evaluación energética de una vivienda analizando su comportamiento térmico y mejorando su eficiencia y con ello su calificación energética viendo la influencia de los diferentes materiales en ella. Realizando la cuantificación económica de esos cambios y conociendo la relación existente entre los cambios del nivel de eficiencia obtenidos y el coste económico que lleva aparejado.

2. Marco normativo

La Directiva 2010/31/UE⁵ del Parlamento Europeo establece, entre otras cosas, los requisitos en relación a la metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios o de unidades del edificio, la aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de los edificios nuevos o de nuevas unidades del edificio y la certificación energética de los edificios o de unidades del edificio.

Para cumplir esta Directiva Europea se crea en España el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, en el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios, tanto de nueva construcción, como existentes. En el Real Decreto se establece la obligatoriedad, salvo excepciones, de la obtención del certificado de eficiencia energética para el propietario de cualquier edificio existente (viviendas, oficinas o locales) que quiera realizar una operación de compraventa o alquiler.

Éste procedimiento de certificación será desarrollado por el órgano competente en esta materia de la Comunidad Autónoma correspondiente, encargado también del registro de las certificaciones en su ámbito territorial, el control externo y la inspección.

En agosto de 2016 se publica una nota informativa sobre los cambios en el procedimiento para la certificación energética que entra en vigor el 14 de enero de 2016. Estos cambios eran necesarios para una mejor convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), ambos actualizados en el año 2013.

A partir del 14 de enero de 2016 los únicos certificados de eficiencia energética admitidos por los Registros de las Comunidades Autónomas son los realizados con la última versión actualizada de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), del CE3, del CE3X o del CERMA.

Este año ha sido publicada la Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia

⁵ Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del consejo de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios modifica a la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002.

energética. Esta nueva directiva tiene como principal objetivo acelerar la renovación rentable de los edificios existentes mediante la promoción de las tecnologías inteligentes en los edificios. En ella también se establece como se ha dicho anteriormente el objetivo de conseguir que los parques inmobiliarios sean de alta eficiencia energética y descarbonizados antes de 2050

Recientemente, a partir del 5 de julio de 2018 se han admitido los certificados de eficiencia energética realizados con la última versión actualizada de CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y del Complemento CE3X para edificios nuevos.

3. Herramientas informáticas utilizadas

Para la realización de las certificaciones energéticas en este proyecto se han utilizado principalmente los programas **CYPECAD MEP** y **HULC**. Secundariamente en una primera fase se ha utilizado el programa AutoCAD para diseñar la geometría en planta del edificio y de la vivienda ya que es necesaria importarla en el programa CYPECAD MEP.

CYPECAD MEP es un programa del conjunto de programas CYPE donde se realiza el diseño y dimensionamiento de la envolvente y la distribución del edificio y de la vivienda en tres dimensiones. El programa permite ver si el edificio cumple con el Documento Básico de Ahorro de Energía 0 y 1 del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HE 0 y el CTE DB-HE 1) relativos a eficiencia energética.

La Herramienta Unificada Lider-Calener (en adelante **HULC**) como su nombre indica unifica a los programas oficiales LIDER, CALENER-GT y CALENER-VYP. En él se van a introducir las instalaciones y se va a calcular la demanda y el consumo energético, así como se obtendrá el certificado de eficiencia energética. El programa verifica si se cumple con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).

4. Evaluación del edificio

4.1. Descripción del edificio y sus instalaciones

El edificio sobre el que se realiza el proyecto se trata del edificio Norte de un conjunto de dos bloques de viviendas situados en la parcela 14.1 de la manzana 14 del sector 56-1 del barrio Miralbueno de Zaragoza, delimitada por las calle Ibón de Ip al norte, Francisco Rallo Lahoz al sur, Marques San felices al este y Iberto Antonio Mustienes Luesma al oeste. En la Figura 1 se muestra el emplazamiento de la parcela y en la Figura 2 la ubicación del edificio dentro de la parcela.

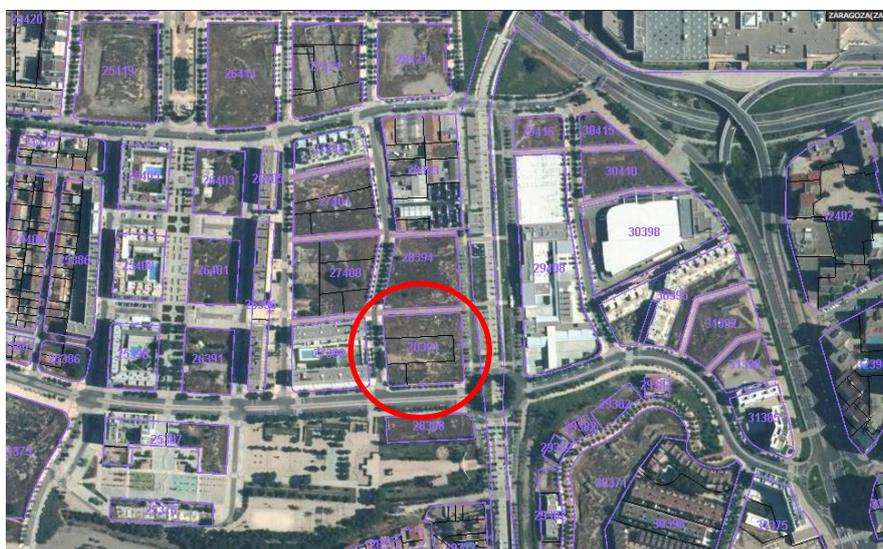


Figura 1. Situación parcela⁶.

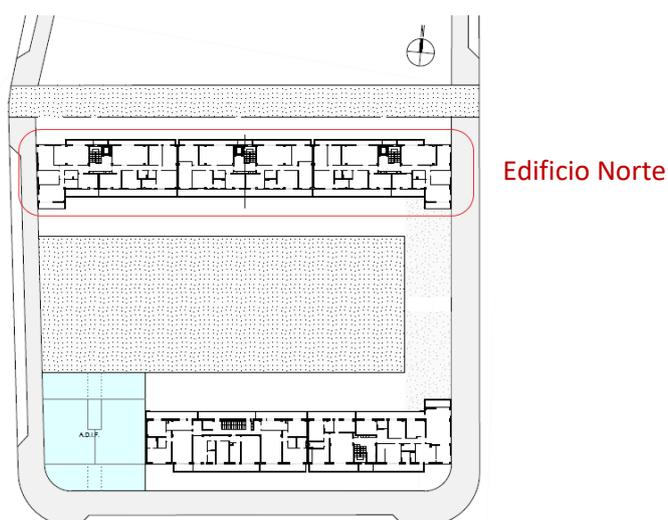


Figura 2. Orientación del edificio Norte dentro de la parcela

⁶ Imagen del catastro 2018

El edificio Norte consta de 18 viviendas repartidas en tres plantas con una misma distribución, una planta baja donde se encuentran locales comerciales y accesos a los inmuebles y una planta sótano donde se ubica un garaje colectivo con trasteros. La relación de metros de cada planta viene reflejada en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de metros del edificio Norte

	Superficie útil (m ²)	Superficie construida (m ²)
Planta sótano	1.586,93	1.798,73
Planta baja	55,08	74,28
Planta primera	518,44	650,19
Planta segunda	518,41	650,19
Planta tercera	518,43	650,19
Total superficie sin terrazas	3.197,29	
Total superficie con terrazas	3.629,95	3.823,58

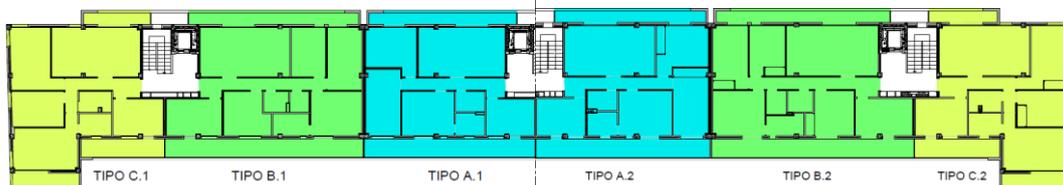


Figura 3. Distribución segunda planta del edificio Norte

Como se muestra en la Figura 3 existen tres tipos de viviendas A, B y C y en cada planta hay dos tipos de cada una de ellas. Las viviendas de tipo A están formadas por tres dormitorios, salón, cocina, un baño y un aseo, las de tipo B por cuatro dormitorios, salón, cocina, un baño y dos aseos y las de tipo C por tres dormitorios, salón, cocina, un baño y un aseo.

La vivienda escogida como vivienda tipo a la que se le realizarán los cambios en la envolvente se trata de la vivienda de tipo C.1 ubicada en la segunda planta del edificio, esta será descrita con detalle en el apartado 4.1.

En cuanto a las instalaciones el sistema de calefacción instalado es centralizado mediante una caldera de gas natural situada en la planta sótano que satisface tanto las necesidades de

calefacción como las de ACS⁷ del bloque. La caldera es de condensación de 200kW de potencia nominal y un rendimiento del 97%. Tiene unas temperaturas de impulsión y retorno de agua de 80°C y 60° C respectivamente. Como se muestra en la Tabla 2 la potencia nominal de la caldera supera a las necesidades de calefacción y ACS.

Tabla 2. Relación de potencias edificio Norte

Potencia calefacción (kW)	Potencia ACS (kW)	Potencia total demandada (kW)	Potencia caldera (kW)
115,9	63,8	179,7	200

El consumo de ACS del bloque es de 2604 litros/día, se dimensiona como suficiente un depósito de acumulación de 500 litros para el bloque.

Se realiza una preinstalación en cada una de las viviendas del bloque basada en un sistema aire-agua sólo frío. Esta preinstalación consiste en la colocación de un sistema de conductos en el falso techo que distribuyen caudal suficiente a todos los dormitorios y salón de las viviendas en los cuales se expulsa el aire mediante rejillas de impulsión. La preinstalación no incluye las máquinas enfriadoras y los fancoil.

Los parámetros tanto de la instalación de calefacción como de la instalación de refrigeración se encuentran detallados en el Anexo I.

4.2. Certificación energética del edificio

Se procede a la obtención de la calificación energética del edificio. Posteriormente cuando se haya obtenido la calificación energética de la vivienda tipo se compararan para ver la relación que tienen.

Para ello se realiza en primer lugar una plantilla con la geometría en planta del edificio en el programa AutoCAD ya que es necesaria importarla luego en el programa CYPECAD MEP.

⁷ Agua Caliente Sanitaria

Una vez en el programa CYPECAD MEP y a partir de la plantilla importada de AutoCAD se elabora la envolvente constructiva del edificio en tres dimensiones con los datos obtenidos del proyecto. El resultado de la simulación se puede observar en la Figura 4y la Figura 5 mostradas a continuación.

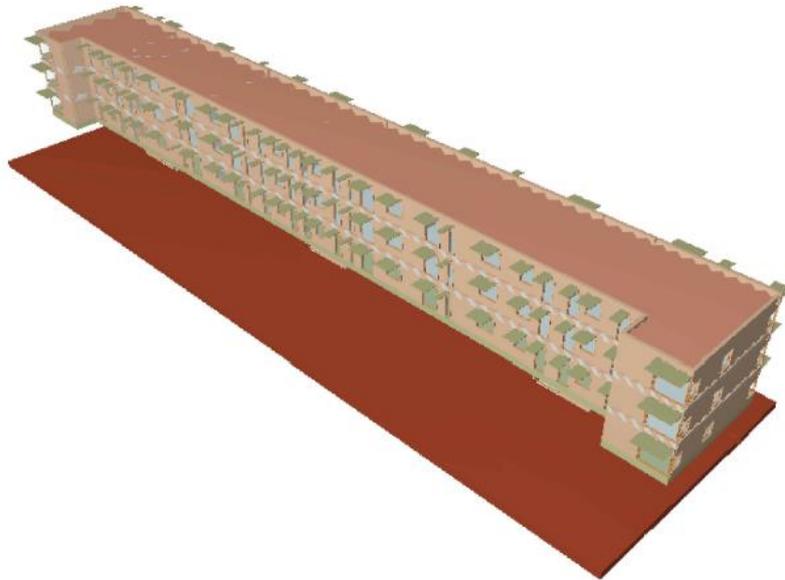


Figura 4. Simulación CYPECAD MEP edificio Norte

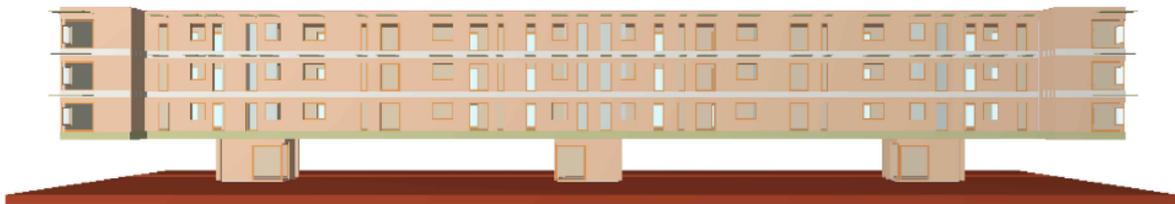


Figura 5. Vista frontal simulación edificio Norte

Una vez se ha realizado toda la modelización se procede al cálculo del cumplimiento del CTE DB HE 1 2013 de limitación de demanda energética del edificio donde aparecen los siguientes errores en la simulación:

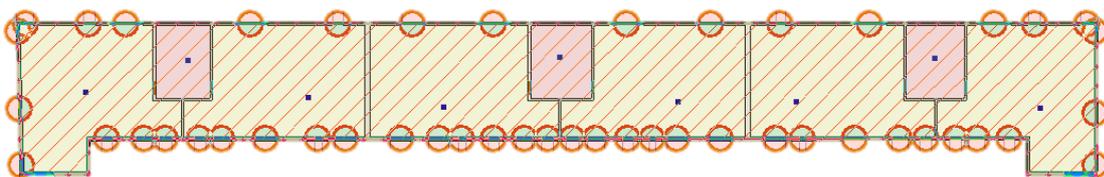


Figura 6. Errores producidos en el edificio en CYPECAD MEP

Los errores mostrados en la Figura 6 de los huecos de ventanas y puertas se deben a que la transmitancia de estas es superior al límite establecido por el CTE DB HE 1 2013 ya que cuando se diseñó el edificio la normativa era menos estricta, por ello hubo necesidad de mejorar el nivel prestacional de las ventanas.

Como resultado del cálculo del DB HE 1 en CYPECAD MEP se obtiene una demanda de calefacción de $42.34 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ y una demanda de refrigeración de $13.28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$. El documento obtenido de este cálculo se encuentra en el Anexo II.

El archivo de la simulación se exporta al programa HULC como se ve en la Figura 7 donde se procede a calcular los valores de la demanda de calefacción y de la demanda de refrigeración obteniéndose unos valores anuales de $47,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ para calefacción y $11,79 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$ para refrigeración.

Los resultados obtenidos en cada uno de los dos programas difieren debido a que la superficie útil con la que se realizan los cálculos no es la misma, ya que mientras que CYPECAD MEP considera el espesor de los cerramientos el programa HULC no, tomando una mayor superficie útil por lo que la demanda de calefacción es superior. Las demandas que se escogen como referencia para compararlas con la de la vivienda tipo son las calculadas por HULC ya que como se verá más adelante, no es posible calcular las demandas de la vivienda tipo en CYPECAD.

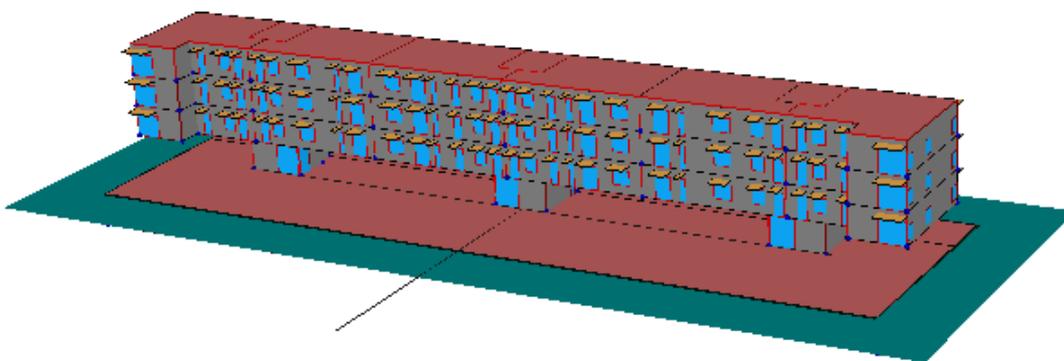


Figura 7. Simulación del edificio en HULC

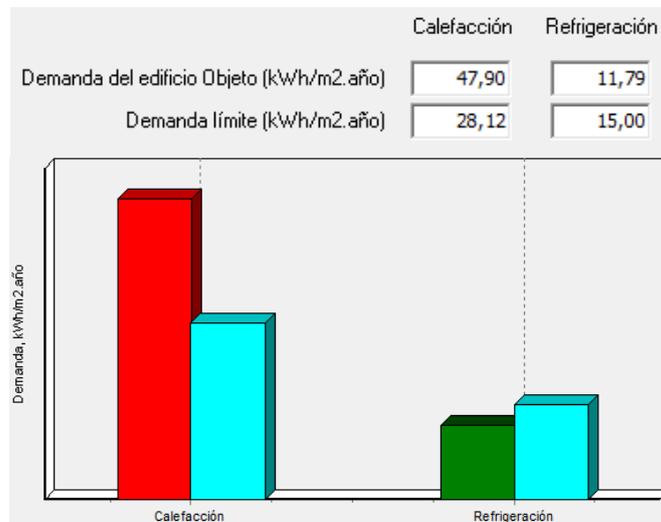


Figura 8. Resultado cálculo demandas calefacción y refrigeración del edificio en HULC

En la Figura 8 se aprecia claramente como la demanda de calefacción supera por mucho el límite establecido por el CTE DB HE 1 de 28,12 kWh/(m²·año) lo que demuestra que el edificio es térmicamente insuficiente y es preciso mejorar su envolvente.

Por último se introducen las instalaciones del edificio. La descripción de las instalaciones y los datos introducidos vienen detallados en el apartado anterior 4.1 de descripción del edificio y en el Anexo I. Una vez introducidas se procede a la obtención del certificado energético con un resultado de 15,87 C como se muestra en la Figura 9.

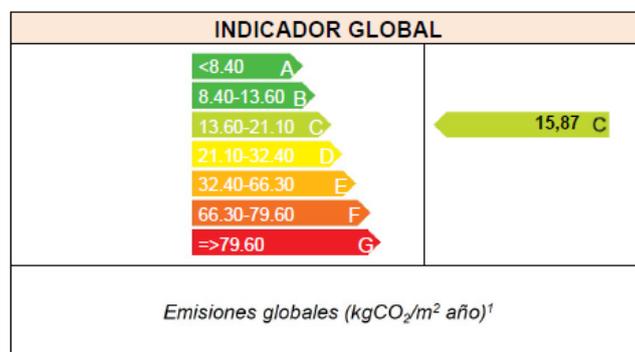


Figura 9. Calificación energética edificio

El certificado energético del edificio obtenido se encuentra en el Anexo III.

5. Evaluación de la vivienda tipo

5.1. Descripción de la vivienda tipo y sus instalaciones

La vivienda elegida como tipo para realizar los cambios en su envolvente se trata de una vivienda tipo C situada en el lado oeste de la segunda planta del edificio. La vivienda tiene 85,42 m² útiles (102,53 m² contando las terrazas) que se reparten en tres dormitorios, salón, cocina, un baño y un aseo.

En la siguiente Figura 10 se observa cómo es la distribución del interior de la vivienda, junto con la Tabla 3. Relación de espacios vivienda tipo donde se detalla la relación de metros cuadrados de cada estancia.



Figura 10. Distribución vivienda tipo

Estancia	Metros cuadrados
Dormitorio 1	15,03
Dormitorio 2	9,70
Dormitorio 3	13,78
Salón	22,65
Baño	3,73
Aseo	3,41
Pasillo	4,54
Recibidor	2,82
Cocina	9,76
Balcón 1	4,12
Balcón 2	4,84
Terraza	8,14

Tabla 3. Relación de espacios vivienda tipo

En el apartado 4.1 de esta memoria ya se han descrito las instalaciones del edificio completo por lo que las de la vivienda son análogas. A la hora de introducir las instalaciones en el programa HULC sería incorrecto introducir una caldera del 200kW de potencia por lo que se dimensiona aproximadamente una de 11,12kW que es lo que le correspondería a la vivienda y por lo tanto su equivalente. Igualmente se dimensiona aproximadamente un depósito de acumulación de 27,28 litros, a partir del de 500 litros del edificio entero, el cual es suficiente para cubrir la demanda de ACS de la vivienda que es de 124 l/día.

5.2. Certificación energética de la vivienda tipo

Se procede a la evaluación de la vivienda tipo con el aislante original para obtener unos datos de eficiencia energética que luego se compararán con los resultados obtenidos por el edificio y con los resultados obtenidos por las modificaciones en la envolvente térmica.

Igual que para el edificio en primer lugar se realiza una plantilla con la geometría en planta de la vivienda en el programa AutoCAD ya que es necesaria importarla luego en el programa CYPECAD MEP.

A partir de la plantilla importada de AutoCAD se elabora la envolvente constructiva original de la vivienda en tres dimensiones en el programa CYPECAD MEP con los datos obtenidos del proyecto obteniendo la simulación de la Figura 11.

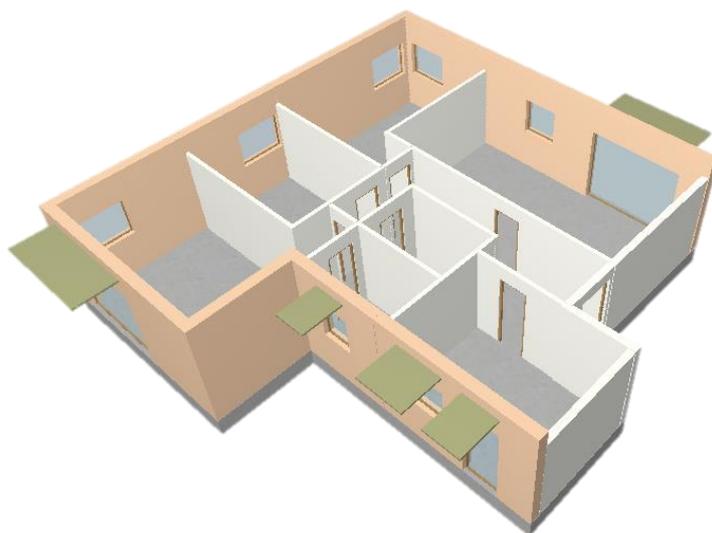


Figura 11. Simulación vivienda tipo en CYPECAD MEP

De todos los elementos constructivos de los que está compuesta la vivienda lo que más nos interesa son los cerramientos que dan al exterior que son por los que se produce intercambios de calor. Todas las fachadas exteriores son idénticas y tienen las siguientes características mostradas en la Figura 12.

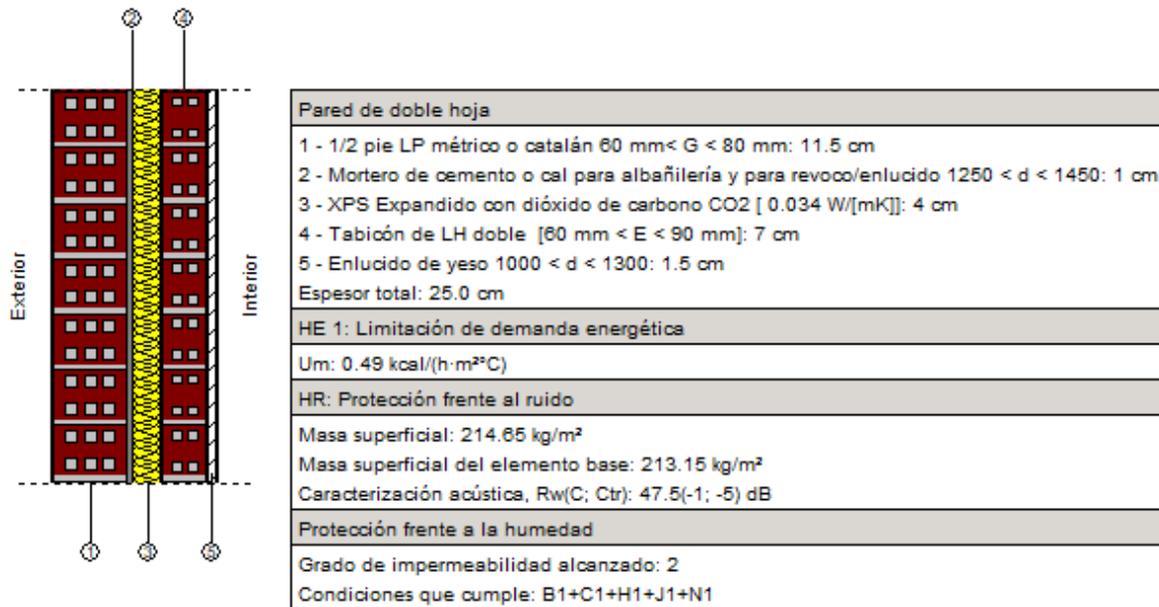


Figura 12. Cerramiento vivienda tipo

Al realizar el cálculo del cumplimiento del CTE DB HE 1 2013 de limitación de demanda energética de la vivienda aparecen los errores mostrados en la Figura 13.

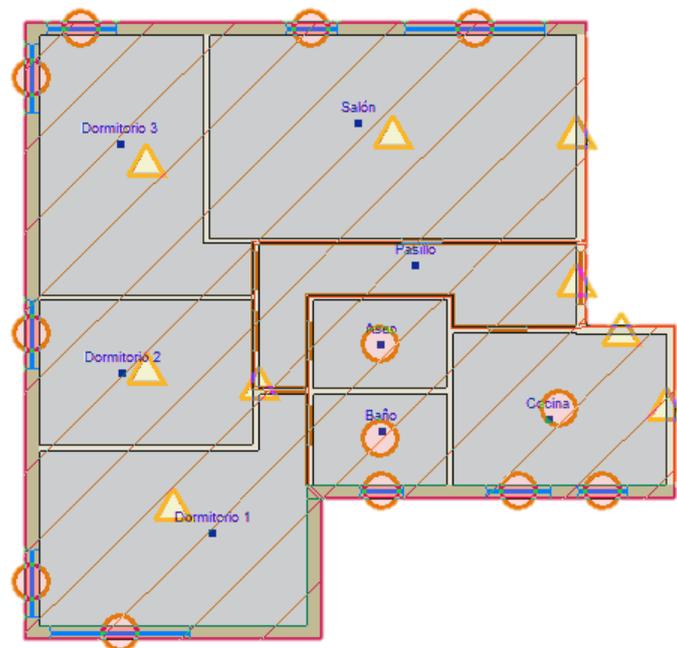


Figura 13. Errores producidos en la vivienda en CYPECAD MEP

Como ha sucedido al calcular anteriormente el edificio completo se producen los mismos errores en los huecos de las ventanas y las puertas debido a que la transmitancia de estas es

superior al límite establecido por el CTE DB HE 1 2013 ya que cuando se diseñó el edificio la normativa era menos estricta y por ello por ello hubo necesidad de mejorar el nivel prestacional de las ventanas.

En cuanto a los errores en tabiques y forjados estos se deben a que en el programa CYPECAD MEP no se puede realizar el estudio de una vivienda en el interior de un bloque de viviendas, ya que este considera que todas las paredes de la vivienda dan al exterior, así como el forjado inferior y superior. Esto no es posible modificarlo así que para poder realizar el estudio de la vivienda hay que exportar el archivo al programa HULC. En consecuencia los valores obtenidos en cuanto a demanda energética en calefacción y refrigeración en el programa CYPECAD MEP no son correctos por lo que el documento generado de cumplimiento del CTE DB HE 1 2013 de limitación de demanda energética no es válido.

Una vez exportado al programa HULC es posible modificar las paredes y forjados que considera que dan al exterior como adiabáticos de manera que no se produce transmisión de calor, quedando la simulación como en la Figura 14.

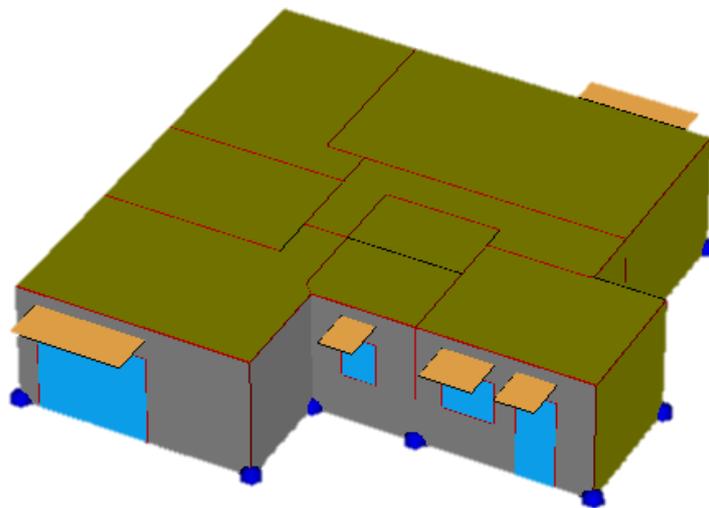


Figura 14. Simulación vivienda tipo en HULC

Una vez modificados todos los elementos se realiza el cálculo de demanda de refrigeración y calefacción obteniendo los resultados anuales mostrados en la Figura 15.

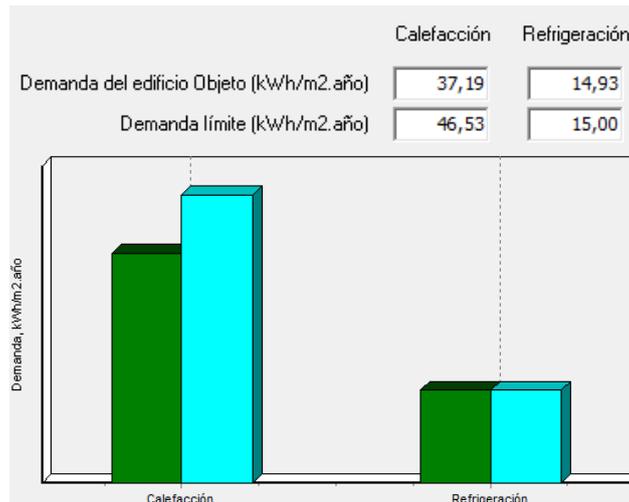


Figura 15. Resultado cálculo demandas calefacción y refrigeración de la vivienda en HULC

Observamos que tanto la demanda de calefacción como la de refrigeración están dentro de los límites establecidos por el CTE DB HE 1, aunque la demanda de refrigeración se encuentra al límite.

Finalmente se procede a la obtención de los documentos de la calificación de eficiencia energética que realiza HULC con un resultado de 13,96C mostrado en la Figura 16.

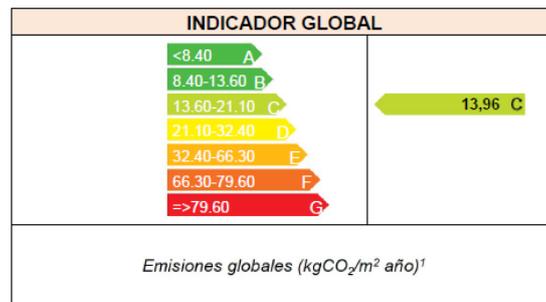


Figura 16. Calificación energética vivienda tipo

El certificado energético obtenido de la vivienda se encuentra en el Anexo III.

En la Tabla 4. Comparación resultados HULC para el edificio y la vivienda se comparan los resultados obtenidos para el edificio completo y para la vivienda tipo. A pesar de que la demanda de refrigeración es mayor para la vivienda que para el edificio la calificación energética final de la vivienda es mejor que la de este, lo que es totalmente lógico porque en la calificación del edificio entero se tienen en cuenta todas las viviendas y no todas son iguales ni tienen la misma orientación por lo que sus calificaciones energéticas difieren.

Tabla 4. Comparación resultados HULC para el edificio y la vivienda

	Demanda calefacción [kWh/(m ² ·año)]	Demanda refrigeración [kWh/(m ² ·año)]	Calificación energética [kgCO ₂ /m ² ·año]
Edificio	47,90	11,79	15,87
Vivienda	37,19	14,93	13,96

6. Estudio comparativo de aislantes en el cerramiento

En el estudio se va a mantener la estructura del cerramiento cambiando solo el tipo de aislante utilizado ya que la técnica constructiva en si es de las más utilizadas en España, así como no se va a realizar ningún cambio en las instalaciones del edificio.

Hoy en día hay multitud de tipos de aislantes y cada vez salen al mercado nuevos con mejores propiedades, respecto a esto el estudio está muy limitado ya que solo podemos estudiar los aislantes que nos proporciona la biblioteca del programa HULC, ya que sino no nos realiza el certificado energético.

Los principales materiales que aparecen en la base de datos o biblioteca de HULC son poliestireno, lana mineral y poliuretano. El aislante utilizado originalmente en la construcción son 4 centímetros de XPS Expandido con dióxido de carbono [0,034 W/(mK)]. Para la realización del estudio se han escogido los aislantes más representativos y con los que en principio mejores resultados se podrían obtener de cada material principal. Los aislantes estudiados junto con sus respectivas transmitancias térmicas son los siguientes:

- XPS⁸ Expandido con dióxido de carbono CO₂ [0,034 W/(mK)]
- XPS Expandido con hidrocarburos HFC⁹ [0,025 W/(mK)]
- EPS¹⁰ Poliestireno expandido [0,029 W/(mK)]
- MW¹¹ Lana mineral [0,031 W/(mk)]
- PUR¹² Plancha con HFC o Pentano y revestimiento impermeable a gases [0,025 W/(mK)]
- PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0,028 W/(mK)]

Para cada aislante se estudian espesores de 4, 6 y 8 cm así como combinaciones de 4+4 y 4+6 cm de espesor.

⁸ Poliestireno extruido

⁹ Hidrofluorcarbonos

¹⁰ Poliestireno expandido

¹¹ Lana mineral

¹² Poliuretano

A partir de la simulación original de la vivienda en el programa CYPECAD MEP se realizan todas las variaciones de aislante y combinaciones de espesor obteniendo para cada uno de ellos un archivo de resultados de la simulación. En las siguientes tablas (Tabla 5. Resumen resultados obtenidos para cada simulación en CYPECAD MEP) se muestra un resumen de los datos obtenidos, así como el coste de cada uno de ellos. El coste de cada material se ha obtenido de la base de datos de construcción Precio Centro editada por el Gabinete Técnico del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara y el generador de precios de la construcción de CYPE.

Tabla 5. Resumen resultados obtenidos para cada simulación en CYPECAD MEP

XPS Expandido con dióxido de carbono CO ₂ [0,034 W/(mK)]				
Espesor aislante (cm)	Espesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,57	10,21
6	27	85,85	0,42	12,35
8	29	85,19	0,34	14,49
4+4	29	85,19	0,34	20,42
4+6	31	84,54	0,28	22,56

XPS Expandido con hidrocarburos HFC [0,025 W/(mK)]				
Espesor aislante (cm)	Espesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,46	11,74
6	27	85,85	0,34	14,20
8	29	85,19	0,27	16,66
4+4	29	85,19	0,26	23,48
4+6	31	84,54	0,22	25,94

EPS Poliestireno expandido [0,029 W/(mK)]				
Espesor aislante (cm)	Espesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,51	10,18
6	27	85,85	0,38	13,44
8	29	85,19	0,30	16,71
4+4	29	85,19	0,30	20,36
4+6	31	84,54	0,25	23,62

MW Lana mineral [0,031 W/(mk)]

Esesor aislante (cm)	Esesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,54	12,87
6	27	85,85	0,40	17,21
8	29	85,19	0,32	21,32
4+4	29	85,19	0,32	25,74
4+6	31	84,54	0,26	30,08

PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeable a gases [0,025 W/(mK)]

Esesor aislante (cm)	Esesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,46	28,35
6	27	85,85	0,34	35,80
8	29	85,19	0,27	41,50
4+4	29	85,19	0,26	56,70
4+6	31	84,54	0,22	64,15

PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0,028 W/(mK)]

Esesor aislante (cm)	Esesor total cerramiento (cm)	Metros útiles vivienda (m ²)	Transmitancia térmica cerramiento [W/(m ² k)]	Precio aislante (Euros/m ²)
4	25	86,50	0,50	6,84
6	27	85,85	0,37	9,50
8	29	85,19	0,29	12,61
4+4	29	85,19	0,29	13,68
4+6	31	84,54	0,24	16,34

En primer lugar se compara el coste de cada uno de los aislantes como se muestra en la Figura 17. En la gráfica se muestra el precio de cada material por metro cuadrado, el precio se ha obtenido realizando una media ponderada de los precios para cada espesor. Como se observa claramente el aislante más caro es el poliuretano en plancha con gran diferencia respecto al resto, así mismo el más económico es el poliuretano proyectado, este con algo menos de diferencia respecto al resto de aislantes.

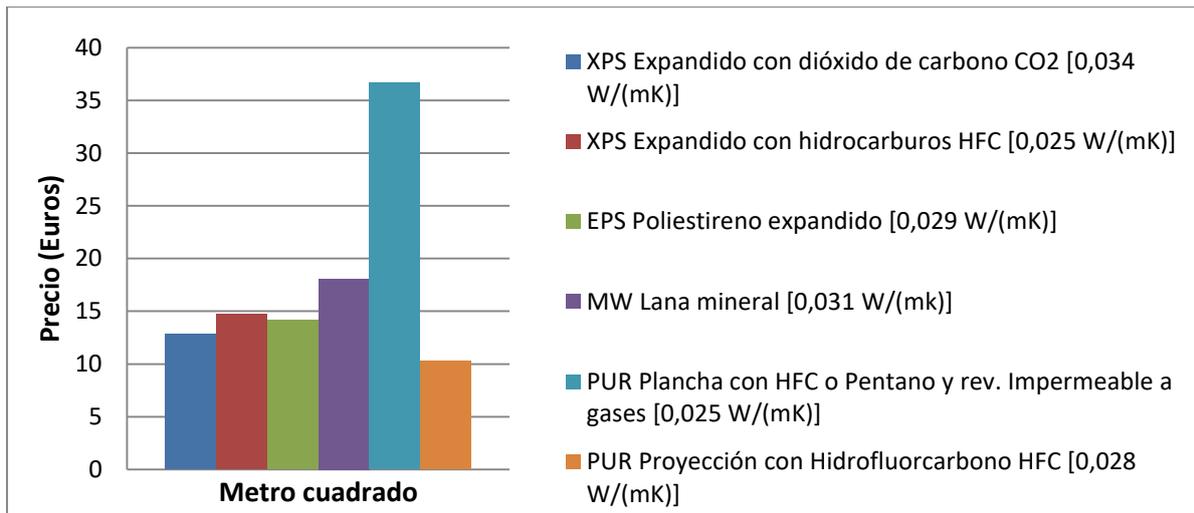


Figura 17. Comparación precio por metro cuadrado de los aislantes

La Figura 18 representa para el aislante original, poliestireno extruido con dióxido de carbono, los valores de transmitancia térmica y precio en función del espesor. Lógicamente la transmitancia térmica disminuye conforme aumenta el espesor, produciéndose la mayor evolución de 4 a 6 cm. Para el espesor de 8cm y 4+4 cm se consigue el mismo valor de transmitancia pero siento el precio de 4+4 mucho mayor, más adelante se verá si la calificación energética es también igual.

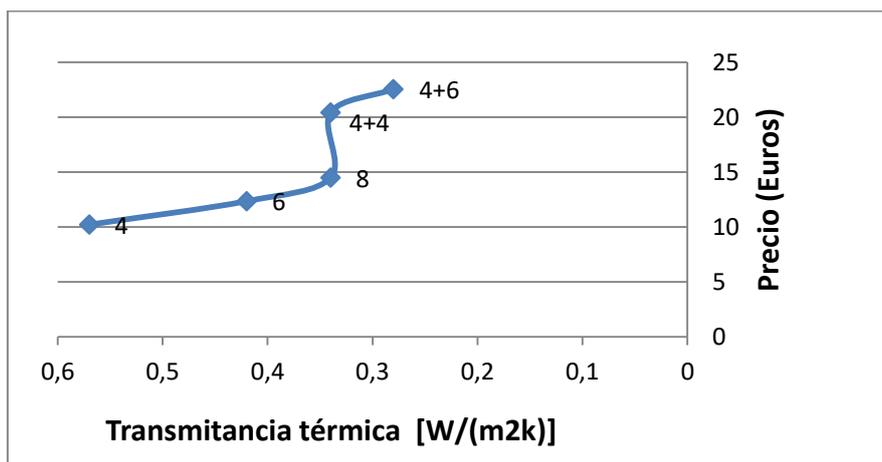


Figura 18. Representación gráfica de la relación entre la transmitancia térmica del cerramiento con XPS Expandedo con dióxido de carbono y su precio

A continuación en la Figura 19 se muestra la evolución de los diferentes aislantes en una misma gráfica para así poder compararlos.

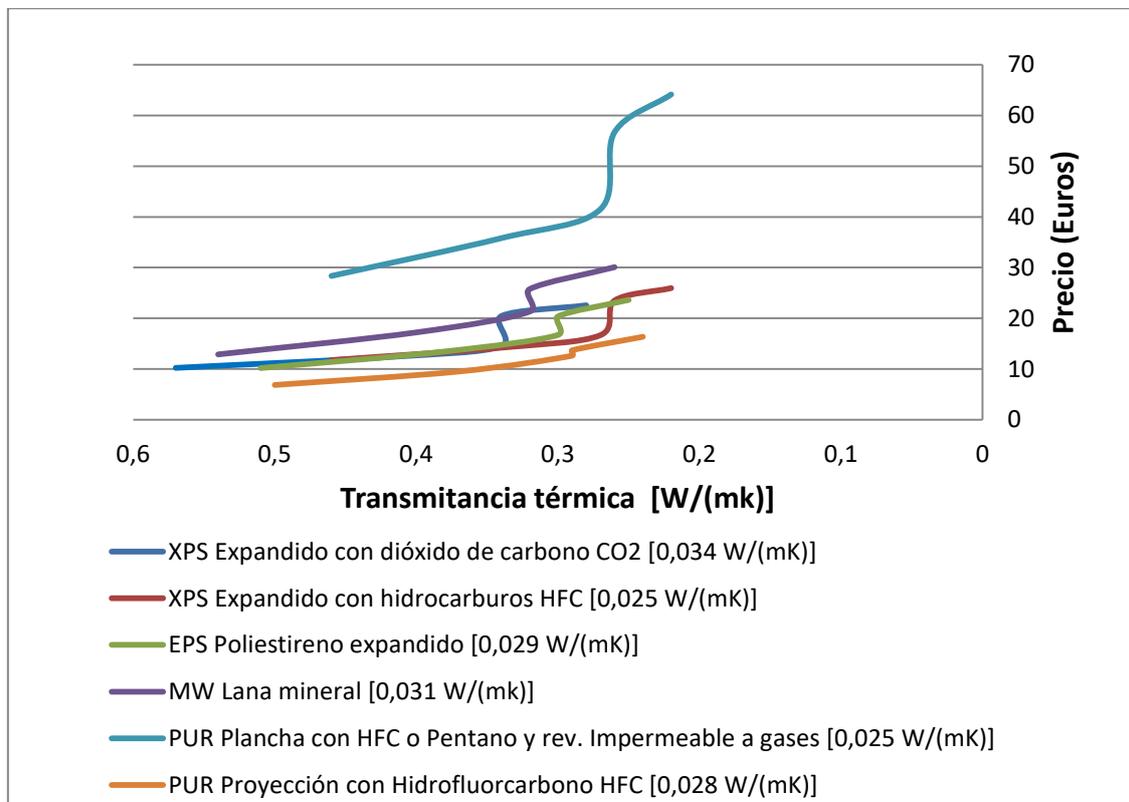


Figura 19. Representación gráfica de la relación entre la transmitancia térmica del cerramiento y el precio de su aislante

Comparando los aislantes, observamos que todos los aislantes siguen el mismo patrón de evolución, siendo los aislamientos que hacen que el cerramiento tenga mejor comportamiento son el PUR plancha con HFC y el XPS Expandido con HFC consiguiendo ambos una transmitancia de 0,22 W/(m²k) para 4+6 cm de espesor.

En cuanto a los precios, aumentan exponencialmente al combinar espesores, habrá que ver si este aumento de precio supone una gran mejora de la calificación energética. Se observa claramente como el PUR plancha con HFC sobresale al ser el más caro, mucho más que el XPS Expandido con HFC teniendo un comportamiento térmico muy similar.

Finalmente una vez exportados los archivos realizados en CYPECAD MEP al programa HULC se realizan los cambios en la envolvente análogos a los realizados para la certificación del piso original explicados anteriormente y se introducen las instalaciones en cada uno de ellos se obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 6) en cuanto a demanda y certificación energética.

Tabla 6. Resumen resultados obtenidos para cada simulación en HULC

XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0,034 W/(mK)]			
Espesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	37,19	14,93	13,96 C
6	34,21	15,01	12,80 B
8	28,96	15,25	11,92 B
4+4	28,96	15,25	11,93 B
4+6	26,90	15,35	11,35 B

XPS Expandido con hidrocarburos HFC [0,025 W/(mK)]			
Espesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	35,05	15,13	13,26 B
6	30,46	15,31	12,13 B
8	28,85	15,07	11,68 B
4+4	26,20	15,38	11,25 B
4+6	24,54	15,46	10,82 B

EPS Poliestireno expandido [0,029 W/(mK)]			
Espesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	35,69	15,14	13,54 B
6	30,88	15,31	12,34 B
8	28,06	15,43	11,72 B
4+4	27,47	15,32	11,53 B
4+6	25,62	15,41	11,08 B

MW Lana mineral [0,031 W/(mk)]			
Espesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	38,28	14,87	13,73 C
6	33,15	15,04	12,51 B
8	30,06	15,17	11,75 B
4+4	28,07	15,29	11,71 B
4+6	26,13	15,38	11,19 B

PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeable a gases [0,025 W/(mK)]

Esesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	34,99	15,05	13,30 B
6	31,45	15,03	12,33 B
8	28,59	15,01	11,65 B
4+4	26,20	15,38	11,24 B
4+6	24,54	15,46	10,83 B

PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0,028 W/(mK)]

Esesor aislante (cm)	Demanda calefacción (kWh/m ² año)	Demanda refrigeración (kWh/m ² año)	Calificación energética
4	37,36	14,91	13,77 C
6	32,60	14,99	12,61 B
8	29,80	15,03	11,92 B
4+4	27,15	15,33	11,46 B
4+6	25,34	15,42	11,04 B

Todas las certificaciones de las simulaciones obtenidas en HULC se encuentran recogidas en el Anexo III.

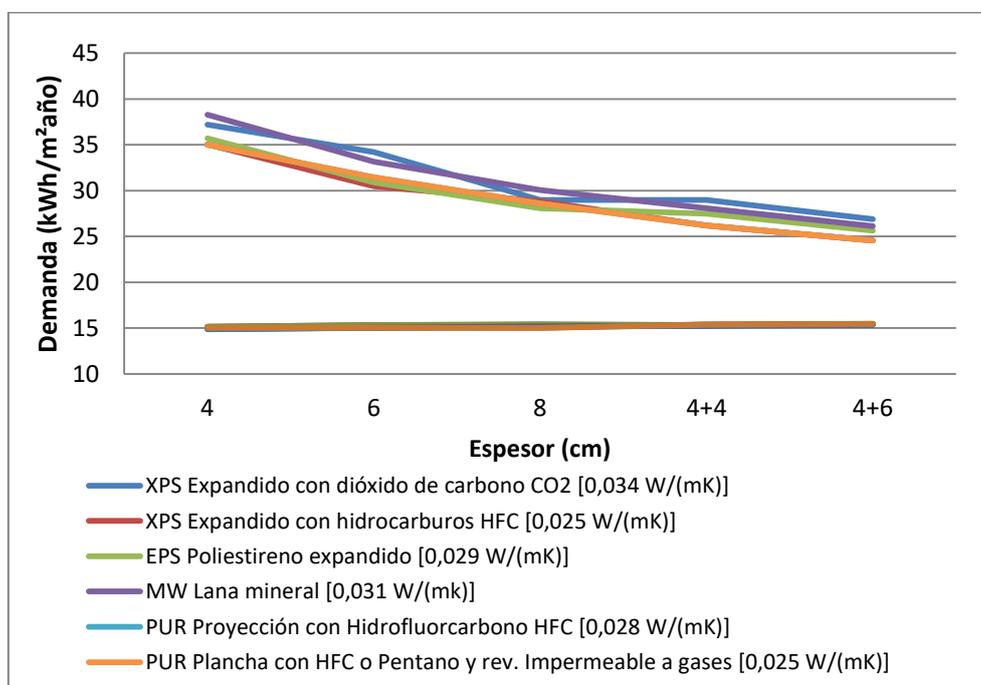


Figura 20. Representación gráfica de las demandas de calefacción y refrigeración de los cerramientos en función del espesor del aislante.

En la Figura 20 se observa la evolución de la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración respectivamente, como podemos apreciar mientras que la demanda de calefacción va disminuyendo conforme aumenta el espesor del aislante la demanda de refrigeración tiene el comportamiento contrario ya que esta va aumentando.

El aumento de la demanda de refrigeración, aunque es relativamente leve, se debe a un “fallo” del programa HULC que permite que en verano durante las horas centrales del día se acumule calor en el interior de la vivienda aumentando la temperatura de esta hasta valores irreales haciéndola inhabitable y este calor no se puede disipar ya que el programa no permite el uso de la ventilación en estas horas centrales. Posteriormente a la tarde-noche cuando la temperatura exterior es inferior a la interior, este detecta que hay un exceso de calor en el interior y quiere refrigerarlo mediante ventilación y disipación del calor por transmisión pero la gran cantidad de calor acumulado y el aumento de aislante es contraproducente lo que hace que aumente la demanda de refrigeración.

Para todos los aislantes la demanda de refrigeración o sobrepasa de primeras el límite permitido de 15 kWh/m²año o en cuanto se aumenta el espesor del aislante se sobrepasa, para reducir esta demanda habría que reducir las aberturas colocando sombras o disminuir el factor solar.

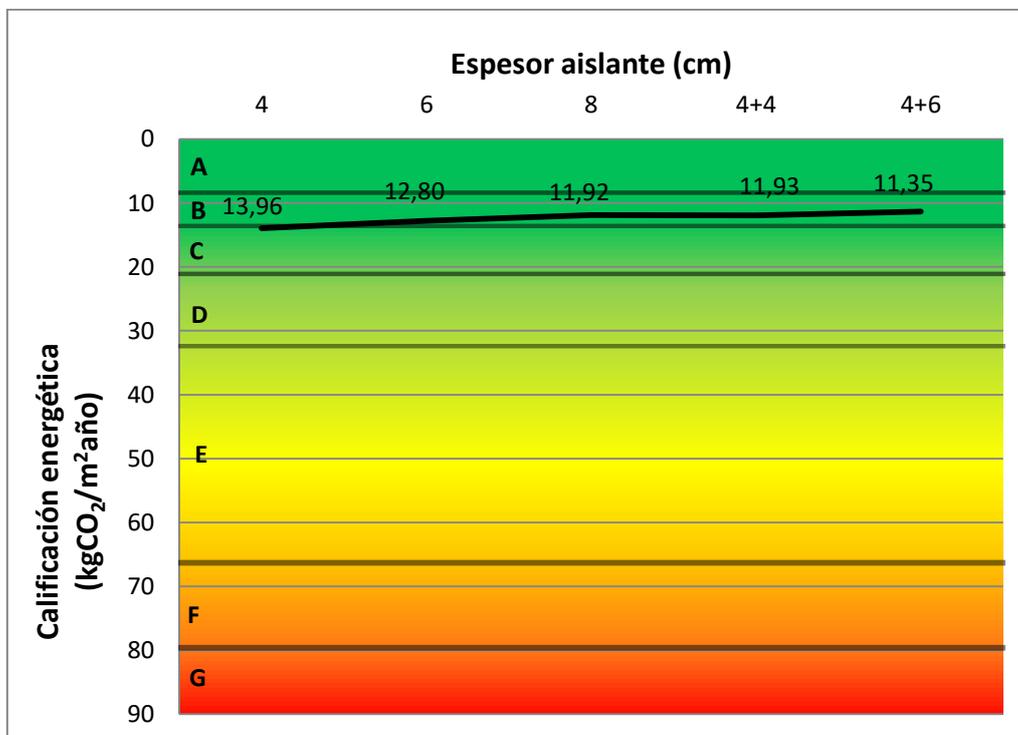


Figura 21. Evolución de la calificación energética de la vivienda en función del espesor del aislante original (XPS Expandido con dióxido de carbono)

Representando la evolución de la certificación energética para el aislante original en función del espesor del aislante en la Figura 21 vemos que aumentando tan solo 2 cm pasando de 4 cm a 6 cm la calificación energética cambia del nivel C al nivel B. Posteriormente sigue mejorando aunque no se llega a alcanzar el nivel A.

Anteriormente se había visto que en cada aislante para el espesor de 8 cm y la combinación de 4+4cm se obtenían los mismos valores de transmitancia térmica, aquí observamos que no se obtiene la misma certificación final, disminuyendo esta en todos para la combinación de 4+4cm .

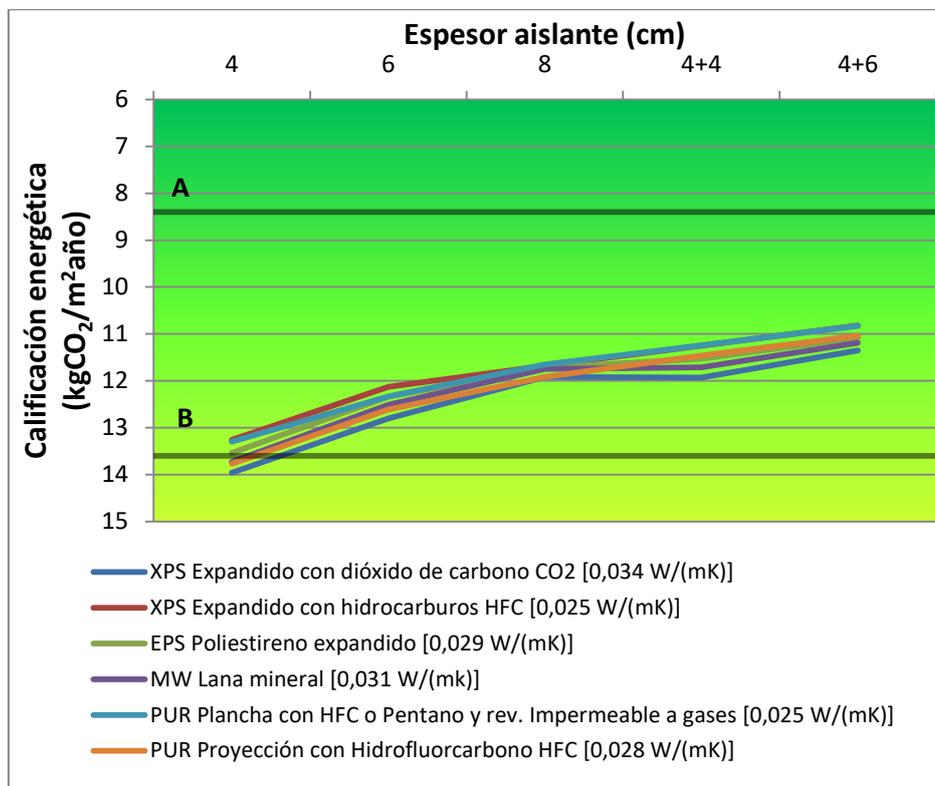


Figura 22. Evolución de la calificación energética de la vivienda en función del aislante utilizado y su espesor.

Si comparamos el aislante original junto al resto de aislantes se ve claramente que el poliestireno extruido con dióxido de carbono obtiene los peores resultados en cuanto a calificación energética ya que este se encuentra por debajo del resto de aislantes. Todos los aislantes siguen la misma evolución no llegando ninguno a alcanzar el nivel de certificación A. Concorde a los resultados obtenidos anteriormente en las gráficas de transmitancia (Figura 19Tabla 5) también aquí los mejores resultados son los obtenidos por el poliuretano en plancha y el poliestireno extruido con hidrofluorcarbono, siendo un poco mejor este último.

Recalcar que la mejora más rápida en todos los aislantes se produce al principio al aumentar el espesor de 4 cm a 6cm y conforme se va aumentando el espesor esta evolución se va ralentizando.

También tener en cuenta que el poliestireno expandido con hidrofluorcarbono, el poliestireno expandido y el poliuretano en plancha con hidrofluorcarbono con 4 cm de aislante ya obtienen el nivel B en la calificación energética.

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos por los diferentes aislantes se llega a la conclusión de que el mejor aislante es el **poliestireno expandido con hidrofluorcarbono (XPS con HFC)** ya que es el que mejor relación resultados/ precio tiene.

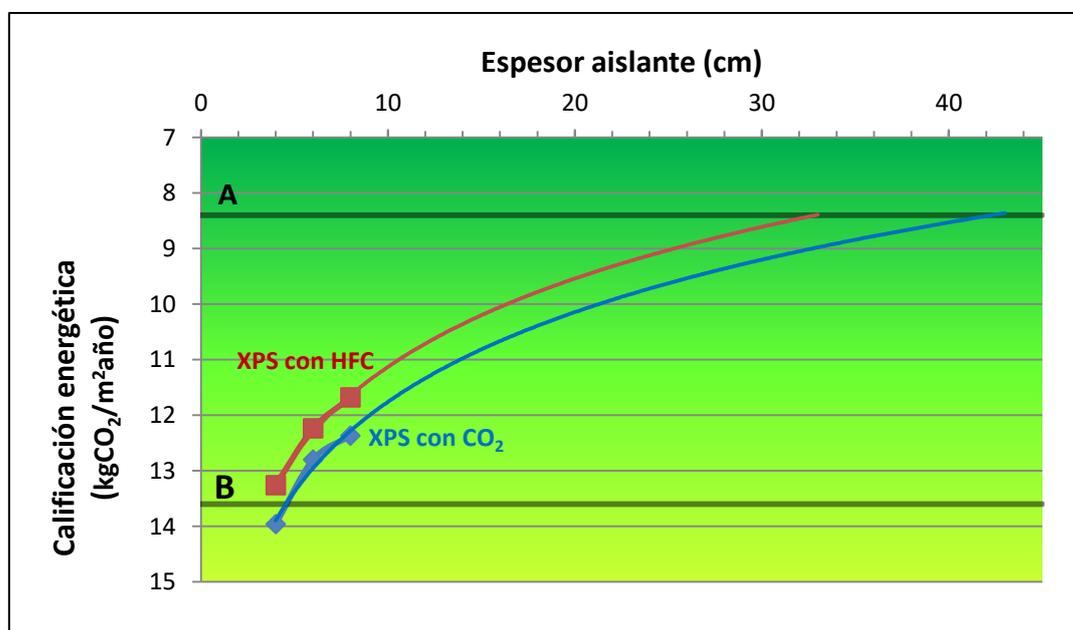


Figura 23. Evolución de la calificación energética de la vivienda en función del espesor del mejor aislante y el original.

En la Figura 23 se representa la evolución de la calificación energética en función del espesor del aislante del poliestireno expandido con hidrofluorcarbono y el aislante original de la vivienda poliestireno expandido con dióxido de carbono. El objetivo de esta gráfica es ver cuánto espesor es necesario para poder alcanzar el nivel A de calificación energética, para ello en trazo fino se han dibujado las líneas de tendencia de ambos aislantes en base a los datos obtenidos para 4, 6 y 8 cm. Como se observa para alcanzar el nivel A se precisaría de un espesor de 32 cm para el XPS con HFC y de 42 cm para el XPS con CO₂ lo cual es totalmente imposible de llevar a cabo en la realidad ya que junto con el resto de componentes

del cerramiento nos saldrían unos espesores de fachada de 53 y 63 cm respectivamente, lo que obviamente es inviable de realizar.

Sin embargo obtener el nivel B de calificación energética se puede conseguir fácilmente aumentando 2 cm el espesor del aislante original (XPS con CO₂), pasando de 4cm a 6cm, lo que supondría un aumento de costes de 169,31€ por vivienda o cambiando el aislante por 4 cm de XPS con HFC lo que supondría un coste de 121,05€ por vivienda siendo este último acaba siendo más barato y con menor espesor.

7. Conclusiones

El presente proyecto tiene gran interés personal y profesional. Personal porque el tema de la eficiencia energética me parece muy interesante ya que es un tema de actualidad que está evolucionando rápidamente del que poco había tratado en la carrera y profesional porque he adquirido unos conocimientos tanto sobre eficiencia energética como de construcción y he aprendido a utilizar unos programas y herramientas que me pueden ser muy útiles en un futuro. Además el poder hacerlo de un proyecto real hace que refleje la situación actual en la construcción.

En primer lugar se ha calculado la calificación tanto del edificio completo como de la vivienda tipo y se ha visto que la calificación de la vivienda tipo es mejor que la del edificio completo debido a que en el edificio entero se tienen en cuenta todas las viviendas y no todas son iguales ni tienen la misma orientación por lo que sus calificaciones energéticas difieren.

Posteriormente se ha procedido al estudio de la variación del aislante de la envolvente térmica ya que la solución constructiva de la vivienda es de las prácticas constructivas habituales en España. Se ha variado tanto el tipo de aislante como sus espesores. Se han obtenido las certificaciones energéticas de todos los cambios realizados y se ha visto que aunque la calificación energética mejora al cambiar el aislante por otro con mejor transmitancia y se aumente su espesor, esta mejora nunca llegará al nivel A de calificación energética. Como se ha visto se necesitarían grandes espesores para conseguirlo lo cual es inviable desde un punto de vista económico y constructivo.

Aunque no se llega a alcanzar el nivel A sí que se ha visto que se consigue mejorar de un nivel C que tenía inicialmente la vivienda a un nivel B que está dentro de los productos ofrecidos por la mayoría de los promotores de nuestra ciudad para el entorno que nos ocupa que es la zona de Miralbueno. Los cambios necesarios no supondrían un gran aumento de costes lo que es otro punto a favor.

Para conseguir llegar a un nivel de calificación A habría que adoptar otras medidas aparte de cambiar el aislante, como modificar el resto de componentes del cerramiento, mejorar la transmitancia de los huecos de la vivienda, aumentando su factor solar o instalar ventanas con rotura de puente térmico. Así como es fundamental una mejora de las instalaciones de calefacción, ACS y refrigeración para obtener un mejor rendimiento de estas.

En el desarrollo de este trabajo se han encontrado algunas limitaciones como que los materiales que se podían estudiar eran solo los que contenía la biblioteca de HULC, ya que sino no se podía realizar la simulación y no se podía obtener la respectiva calificación energética. También ha habido muchos problemas a la hora de realización de las simulaciones, los cuales daban muchos fallos de cálculo. Me he dado cuenta de lo complicado que puede llegar a ser la simulación de una vivienda con los programas oficiales para la realización de estos certificados. Sería necesaria una mayor implicación por parte de los organismos públicos incentivando la elaboración de herramientas informáticas a nivel del cumplimiento normativo exigido por la legislación.

8. Líneas de trabajo futuras

En el proyecto se ha visto que mejorando solo el aislante no es posible alcanzar un nivel A en la certificación energética ya que los espesores que se requieren para ello son inviables por lo que el siguiente paso sería además de estudiar el comportamiento de nuevos aislantes, simultanear la mejora del aislante con otros cambios en la envolvente térmica como el incremento de espesores de fábricas, así como mejorar los huecos incrementando su factor solar, reduciendo su transmitancia térmica o utilizando carpinterías con rotura de puente térmico.

También habría que estudiar la relación existente entre los metros cuadrados útiles y los metros cuadrados construidos ya que por norma general la mejora de la envolvente térmica y su consiguiente calificación energética supone un aumento de espesor de la envolvente por lo que se pierden metros útiles de la vivienda.

A parte de la mejora de la envolvente térmica habría que estudiar una mejora de las instalaciones energéticas (calefacción, ACS y refrigeración) que junto con el cerramiento son los dos grandes factores que determinan la calificación energética de la vivienda. Por este motivo se debe estudiar una posible mejora de las instalaciones para hacerlas más eficientes.

En cuanto al tema económico se estudiaría el establecimiento de criterios objetivos para la incentivación fiscal de la eficiencia energética obteniendo una nueva relación entre los cambios del nivel de eficiencia obtenidos y el coste económico que lleva aparejado contando con estos incentivos.

9. Bibliografía

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (<http://www.idae.es/>).
- Ministerio para la Transición Ecológica (www.miteco.gob.es/es/).
- European commission (<https://ec.europa.eu/>).
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- 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.
- Nota informativa sobre el procedimiento para la certificación energética de edificios vigente desde el 14 de enero de 2016.
- Documento Básico HE Ahorro de Energía (DB HE).
- Manual de usuario de CYPECAD MEP.
- Manual de usuario de HULC.
- Base de datos de construcción Precio Centro editada por el Gabinete Técnico del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Guadalajara.
- Generador de precios e construcción de CYPE.
- Proyecto ejecución de edificios de viviendas en Miralbueno.