

05-024

### **Application of an analytic, synergic and adaptive design methodology to NZEB design: passive measures**

Diego Carmona Fernández; Luis Alberto Horrillo Horrillo; Francisco De Asis Hipólito Ojalvo;  
Miguel Ángel Jaramillo Morán

Universidad de Extremadura;

In response to the paradigm changes in the energetic models a significant improvement in nearly Zero Energy Building (nZEB) design have been achieved, partially because, as stated by the European directives, it will be soon compulsory for new buildings.

The reduction of the energetic needs following a passive model should be the starting point of nZEB. Although a number of studies have been carried out taking it into account, those concerning the Mediterranean weather are few. So a design methodology following the nZEB paradigm has been applied to a new building, a detached family house, in that region. The energetic optimization of that building requires analyzing different isolated parameters and categories by means of computer simulations in order to find out their effect in the thermal energy demand. They should be dynamically calculated based on an hourly base (UNE-EN ISO 13790:2011) carried out with Cypecad MEP.

To do that the behavior of different elements of the building are simulated: house facing, frontage, dividing walls, partition walls, walls in contact with non-habitable areas or the ground, surfaces in contact with the ground, covers and roof, windows, skylights and openings, use profiles, heat recovery in ventilation, etc.

**Keywords:** NZEB; PASSIVE BUILDING; ENERGY DEMAND

### **Aplicación de una metodología de diseño analítica, sinérgica y adaptativa para el diseño de NZEB (EECN): medidas pasivas**

A raíz del cambio de paradigma en los modelos energéticos se han producido importantes avances en el diseño de edificios de consumo casi nulo, en parte, debido a la próxima obligatoriedad emanada de directivas europeas para los edificios de nueva planta.

La reducción de las necesidades energéticas siguiendo un modelo pasivo debe ser el punto de partida del diseño de los nZEB. Si bien se han realizado numerosos estudios incidiendo en dichas medidas, estos son más limitados si nos referimos a climas mediterráneos. Para ello se ha desarrollado una metodología de diseño, que será explicada mediante su aplicación a un edificio, una vivienda unifamiliar aislada. La optimización energética del edificio requiere del análisis de diferentes categorías y parámetros de forma aislada mediante simulaciones para obtener su incidencia en la demanda de energía térmica, a partir de un cálculo dinámico en base horaria (UNE-EN ISO 13790:2011) utilizando el software Cypecad MEP.

Para ello se simulan categorías tales como orientación, fachadas, medianeras, tabiques, tabiques en contacto con espacios no habitables, muros en contacto con el terreno, paramentos en contacto con el terreno, cubiertas y tejados, ventanas, lucernarios y aberturas, perfiles de uso, recuperación de calor en ventilación, etc.

**Palabras clave:** NZEB; EDIFICIO PASIVO; DEMANDA DE ENERGÍA

Correspondencia: Diego Carmona Fernández dcarmona@unex.es



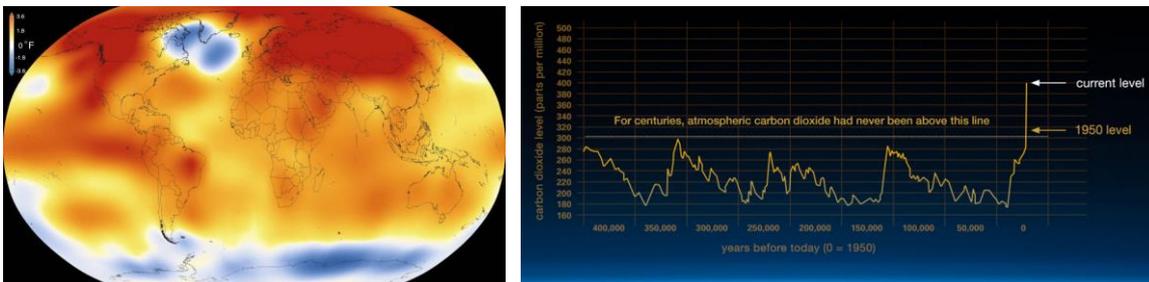
Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## 1. Introducción

Desde la década de 1880 se han realizado análisis sistemáticos en los cuales, mediante instrumental cada vez más avanzado como mediciones por satélite, podemos conocer la temperatura del planeta con una exactitud sin precedentes en la historia. Mediante la utilización de técnicas paleoclimáticas es posible determinar la presencia de determinadas sustancias contaminantes en la atmósfera a lo largo de miles de años. Estudios independientes llevados a cabo por administraciones como la NASA, o la NOAA estadounidenses, así como el panel intergubernamental sobre el cambio climático de las Naciones Unidas, indican que el año 2015 fue el más caluroso de la historia (Figura 1), superado, así mismo, por el 2016, y que el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera ha alcanzado una concentración superior a la que ha tenido en los últimos 800000 años (Figura 2), es más, desde el principio de la era industrial se ha producido un incremento en la concentración de dióxido de carbono del 40% (Scientific Visualization Studio & Goddard Space Flight Center (NASA), 2016) (NASA, 2017).

En la actualidad, existe un consenso científico claro acerca de una causa antropogénica en relación al cambio climático, más del 97% de los artículos científicos publicados en revistas científicas con revisión por pares lo constatan. Los científicos no dudan de la existencia del propio cambio automático y, además, de que es responsabilidad del ser humano en su origen (Cook et al., 2016).

**Figuras 1 y 2. Análisis de la temperatura de la Tierra en el año 2015. Fuente: Scientific Visualization Studio, Goddard Space Flight Center (NASA). Nivel de dióxido de carbono en los últimos 800000 años. Fuente: NASA**



Gran parte del dióxido de carbono presente en la atmósfera se debe a la utilización de combustibles de origen fósil no renovables para el suministro energético. En otros términos, sabemos que existe una correlación entre el gasto energético de nuestra sociedad, en gran parte sustentada por la utilización de combustibles fósiles, y el cambio climático (IPCC, 2013). Las medidas para eliminarlo o al menos mitigar, dentro de unos límites aceptables, sus efectos, comenzaron a ponerse en funcionamiento hace años, desde el archiconocido Protocolo de Kioto, hasta la más reciente conferencia de la COP21 en París pasando por las numerosas iniciativas con el objetivo de fomentar la eficiencia energética desarrolladas por la Unión Europea (MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y TURISMO, 2016).

Muchas de las iniciativas de la Unión Europea en el ámbito de la eficiencia energética se refieren a los edificios. Esto es debido a que en Europa el gasto energético de los edificios representa aproximadamente el 40% de energía final consumida, siendo responsables del 36% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Es más, si bien los edificios de reciente construcción cuentan con medidas de eficiencia energética, especialmente desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación en su apartado de ahorro de energía, tanto en su versión del 2006 como especialmente en la de 2013 (España, 2013), aún existen en España numerosos edificios sin las medidas de ahorro de energía adecuadas. Solo en

edificios residenciales, según estadísticas del BPIE (Buildings Performance Institute Europe, 2017), existen más de 5 millones de viviendas que tienen más de 50 años y otros 8,5 millones tienen entre 30 y 50 años. Esto significa que ninguno de estos edificios, en total 13,5 millones, cuentan con medidas de eficiencia energética implementadas.

A partir de la entrada en vigor de diferentes directivas europeas (Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas, 2010, 2012) se ha introducido un nuevo concepto de edificio, el edificio de consumo casi nulo (o nZEB por sus siglas en inglés), que será obligatorio a partir del año 2018, en edificios públicos y del año 2020 para el resto de edificios de nueva construcción. Este tipo de edificio se fundamenta en la reducción a niveles mínimos de la demanda energética mediante la utilización de técnicas de eficiencia energética muy avanzadas y en que el consumo energético resultante final del edificio sea en parte cubierto mediante la utilización de energías renovables generadas in situ en el propio edificio. (European Commission, 2017)

## **2. Objetivo**

El objetivo de la investigación es la creación de una metodología de diseño de edificios de consumo casi nulo independiente de las condiciones climáticas y de la tipología del edificio objeto. Para ello se plantea una metodología de diseño analítica, sinérgica y adaptativa, dividida en diferentes fases, de las cuales en la presente comunicación se detallan las correspondientes a las medidas pasivas.

## **3. Metodología y/o Caso de estudio**

Para el diseño de edificios nZEB de diferentes tipologías y usos y adaptados al clima de su ubicación se plantea una metodología de diseño analítica, sinérgica y adaptativa. Es analítica, puesto que se basa en el análisis detallado y en el cálculo de diferentes variables, sobre modelos informáticos, que afectan al comportamiento energético del edificio. Sinérgica, al requerir de la colaboración de diferentes disciplinas técnicas como la arquitectura, la ingeniería mecánica o la ingeniería eléctrica para su implantación. Y, por último, adaptativa al adecuarse a la tipología de edificio a diseñar; puede aplicarse a edificios residenciales, administrativos, industriales, deportivos, sanitarios, etc.

Para el desarrollo de la metodología ha sido necesaria la utilización de técnicas de Project Management como la gestión de procesos, el desglose de las tareas de los mismos mediante el empleo de estructuras de desglose de trabajo, la gestión de la comunicación, así como de la documentación, etc. y se apoya en los principios de los Sistemas de Gestión de la Energía mediante la utilización de líneas base energéticas que actúan como referencias cuantitativas proporcionando una base de comparación del desempeño energético del edificio.

La metodología se subdivide en cuatro fases:

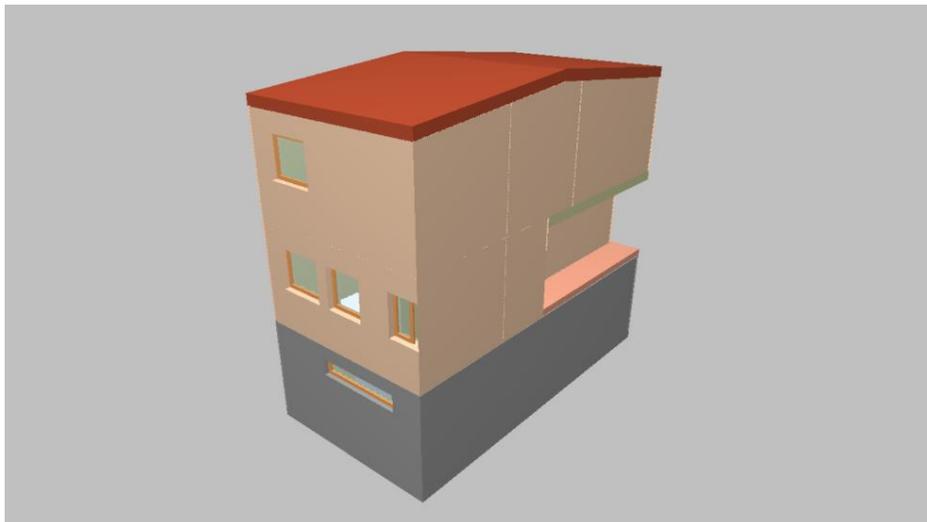
- La fase alfa consiste en el estudio de la incidencia en la demanda de energía del edificio de diferentes soluciones pasivas, agrupadas en categorías.
- La fase beta consiste en la combinación de las diferentes soluciones, obtenidas en cada una de las categorías de la fase alfa, sobre un modelo de cálculo para la obtención de un edificio pasivo.
- En la fase gamma, partiendo de la demanda del modelo pasivo, se estudia la incidencia en el consumo energético final de energía primaria no renovable de diferentes tecnologías de climatización y de generación de agua caliente sanitaria, ACS.

- En la fase Delta se plantean tres escenarios para la obtención de un nZEB, en los cuales, partiendo del modelo pasivo, se combinan soluciones estudiadas en la fase gamma, es decir, diferentes tipos de instalaciones en conjunción con aportes de energías renovables, para determinar el consumo energético final de energía primaria no renovable del edificio.

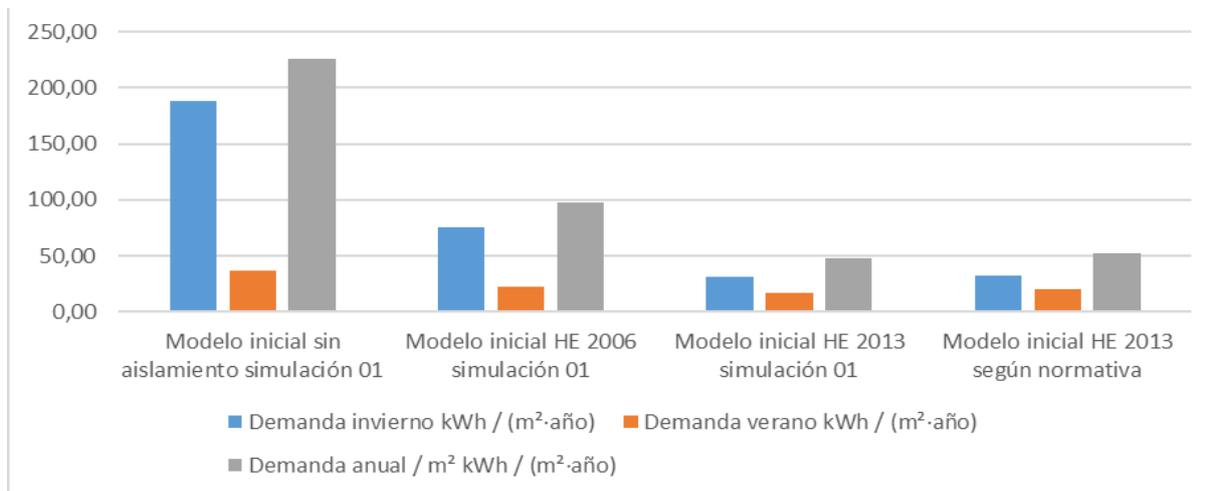
En la presente comunicación se detallan las simulaciones realizadas sobre el modelo imputadas a las fases alfa y beta que son las que acaban resultando en la definición de un modelo pasivo del edificio, contemplando en sus análisis variables como: geometría del edificio, condiciones interiores de confort térmico, inercia térmica, orientación, estanqueidad y transmitancia térmica en la envolvente, estanqueidad, transmitancia térmica y factor solar de los huecos translucidos, ganancia solar, elementos de sombreado, etc.

Para la realización del estudio se emplean simulaciones anuales en intervalos horarios de un modelo zonal del edificio (Cypecad MEP) según lo indicado por la norma UNE 13790 (Aenor, 2011). El edificio consiste en una vivienda unifamiliar adosada en hilera, basada en un modelo de comprobación de la Agencia Internacional de la Energía (Figura 3). Cuenta con tres dormitorios, dos baños, salón comedor, cocina, galería y un sótano no habitable. Sobre el modelo se han realizado 256 a lo largo de las 4 fases.

**Figura 3. Representación 3d del edificio de estudio**



**Figura 4. Simulaciones iniciales del modelo**



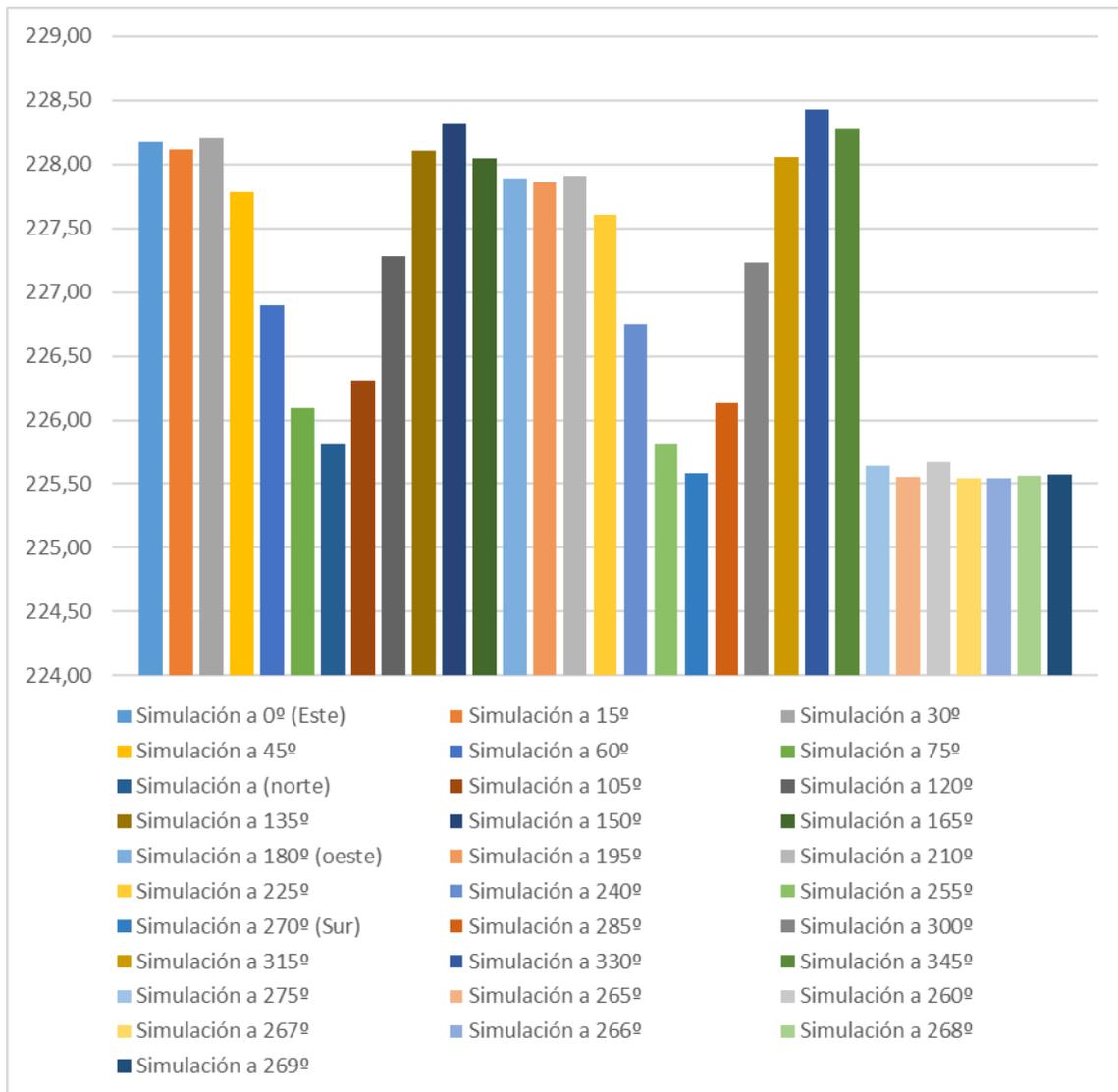
La metodología comienza con el desarrollo de un modelo base sobre el cual se realizan el resto de simulaciones a lo largo de la fase alfa (Figura 4). Este modelo base se corresponde con una representación fiel desde el punto de vista geométrico del edificio objeto de estudio, simulándose una envolvente térmica sin medidas de ahorro de energía. Del mismo modo, para tener una base comparativa se realizan tres simulaciones adicionales que se basan en el cumplimiento de las versiones de 2006 y 2013 del CTE DB HE.

## 4. Resultados

### 4.1. Fase ALFA

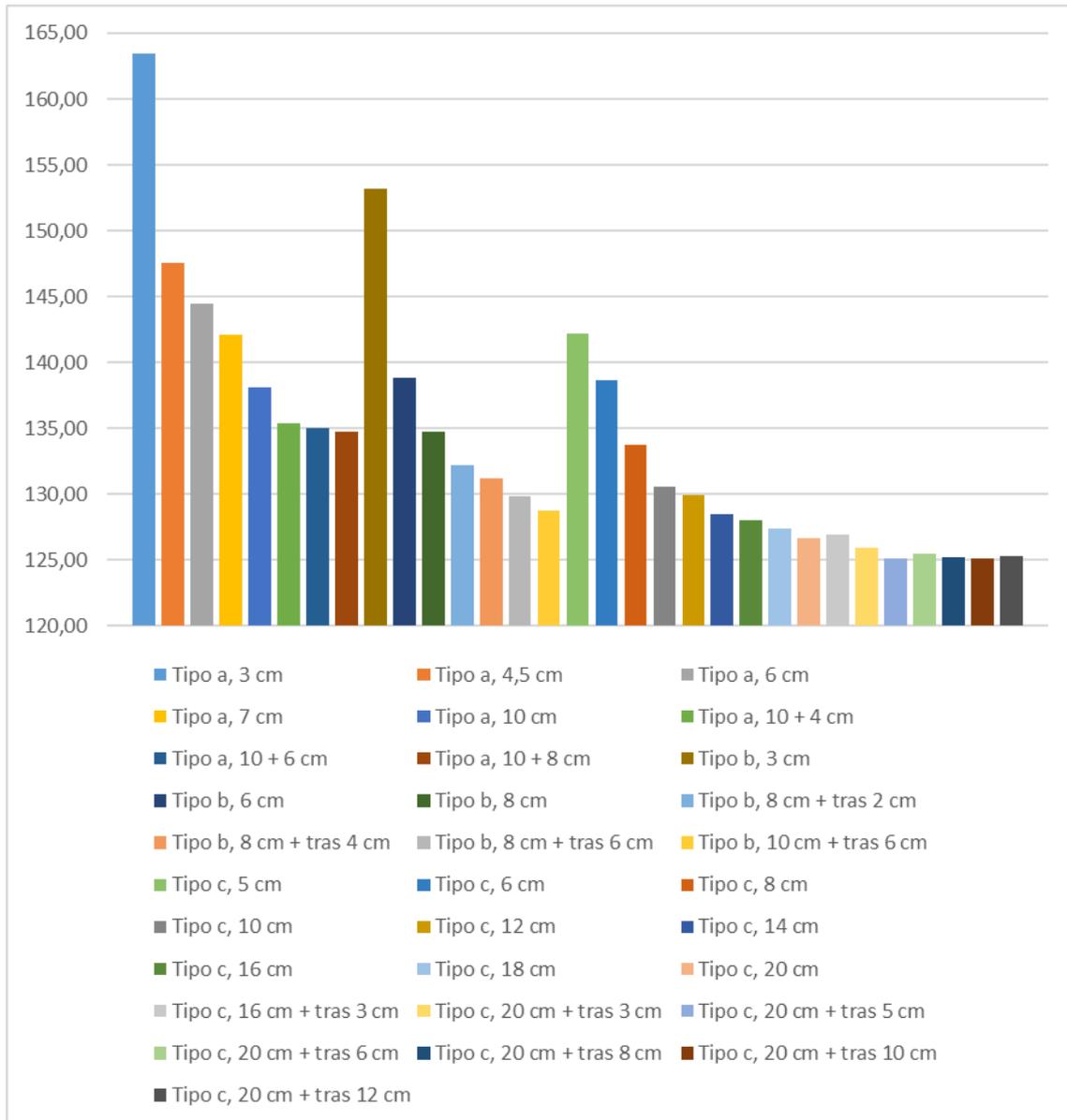
La primera categoría de simulación es en la que se estudia la orientación del edificio, para ello se realizan simulaciones consecutivas para obtener resultado de la demanda energética del edificio variando la orientación del mismo en 15 grados por cada simulación. Una vez obtenido el valor mínimo de estas, se toma como base y se procede a la simulación en intervalos de cada 5 grados. Se toma el valor mínimo y se repite la operación en intervalos de un grado obteniendo el valor de la orientación más favorable de cara la demanda energética anual (Figura 5).

**Figura 5. Simulaciones de orientación del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



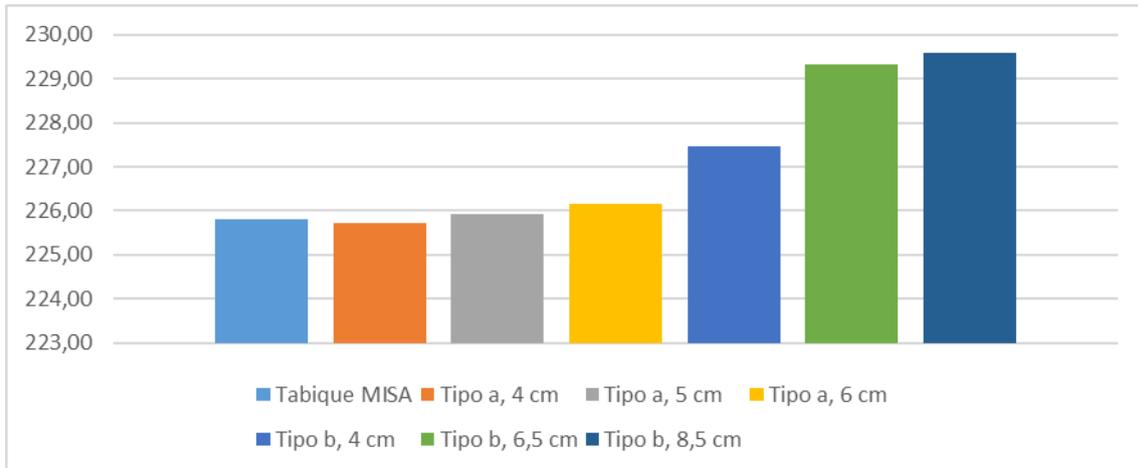
Para la simulación de fachadas se toman tres tipologías de muro sobre las cuales se realizan variaciones en el grosor del aislamiento térmico (Figura 6). Puede observarse cómo se encuentra un punto de inflexión en las tres tipologías a partir del cual el incremento de grosor de aislamiento produce una disminución cada vez menor en la demanda energética anual del edificio.

**Figura 6. Simulaciones de fachadas del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



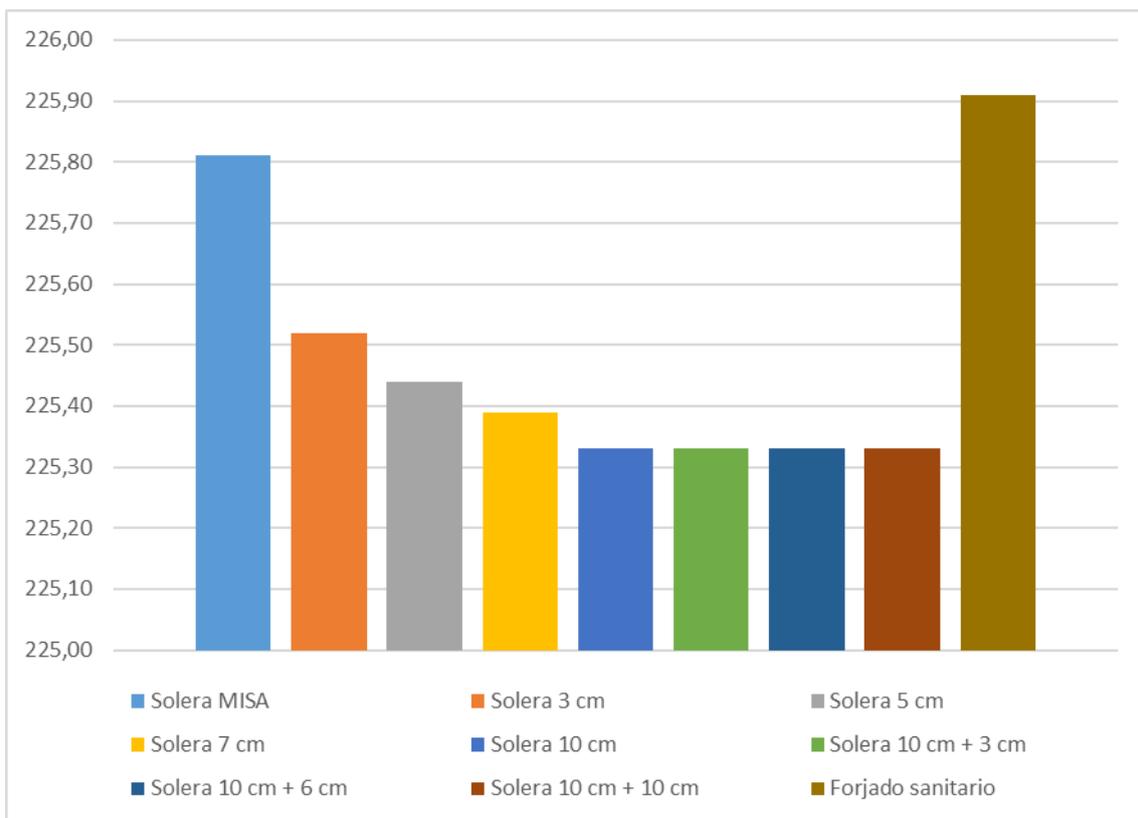
La simulación de los tabiques del modelo ofrece resultados muy interesantes (Figura 7) al observarse que la demanda no disminuye al aumentar el grosor de los aislamientos. Este fenómeno se produce al no encontrarse ningún tabique en contacto con espacios no climatizados. Además, a partir de un determinado nivel de aislamiento se produce un aumento de la demanda energética.

**Figura 7. Simulaciones de tabiques del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



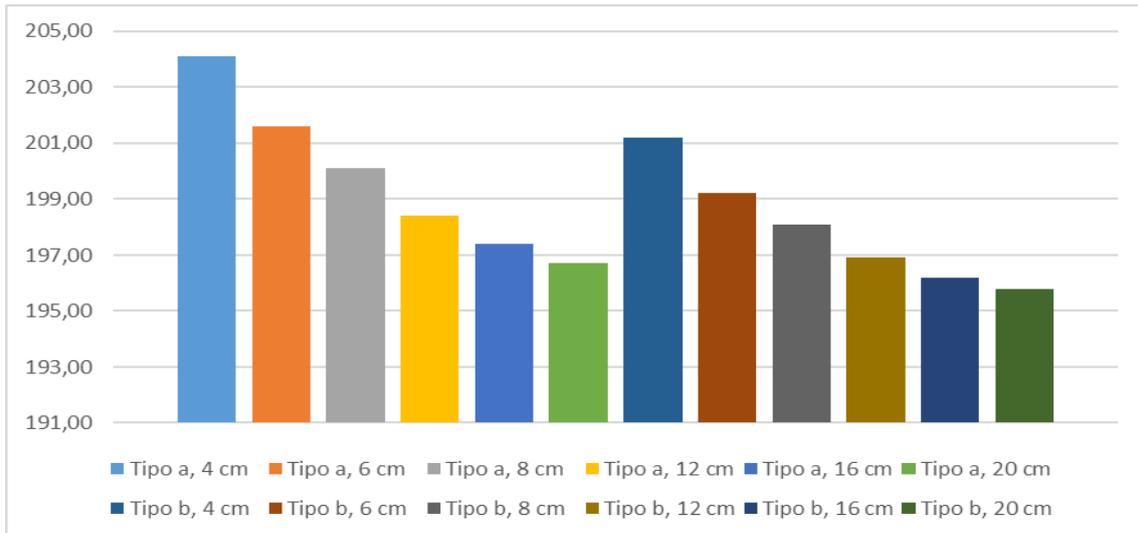
En las simulaciones de los paramentos horizontales en contacto con el terreno puede observarse el mismo fenómeno del punto de inflexión en el aislamiento (Figura 8). La aplicación de determinados niveles de aislamiento es beneficiosa incluso en una solera que delimita un sótano no habitable.

**Figura 8. Simulaciones de paramentos horizontales en contacto con el terreno del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**

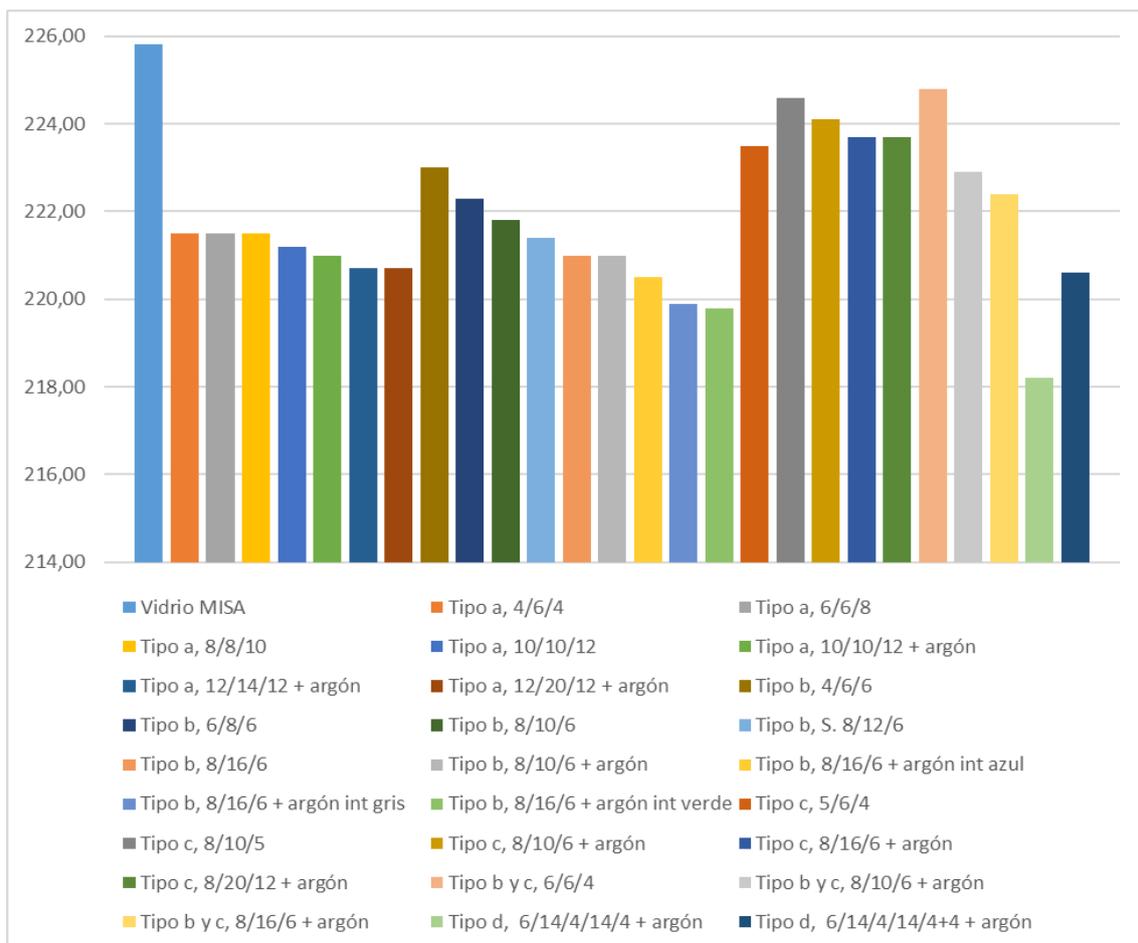


Las simulaciones de cubiertas se realizan a partir de dos tipologías con diferentes tipos de aislamiento (lana mineral y XPS expandido) obteniéndose los resultados esperados, ligeramente más favorables en el caso del XPS por su menor transmitancia (Figura 9).

**Figura 9. Simulaciones de cubiertas del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



**Figura 10. Simulaciones de huecos acristalados del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



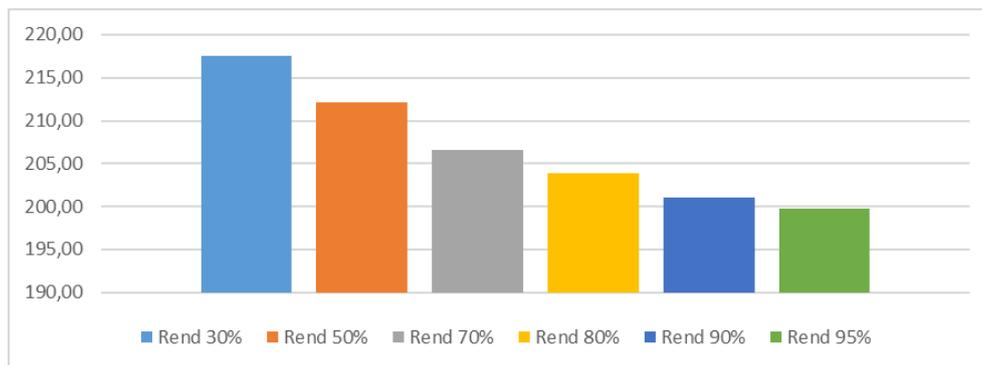
Las simulaciones de los diferentes tipos de vidrio de los huecos incluyen la variación de dos parámetros, por un lado, la transmitancia térmica y por otro el factor solar (Figura 10). Con el objetivo de que las simulaciones sean representativas de la realidad solo se utilizan vidrios

presentes en el mercado. Se utilizan vidrios dobles y triples, con control solar, baja emisividad, etc.

Se realizan además simulaciones para evaluar las sombras en ventanas y en el edificio, los marcos, forjados horizontales en contacto con el exterior, forjados horizontales entreplantas, acabados en paramentos horizontales y verticales, protecciones en huecos, etc.

Finalmente se evalúa la variación del rendimiento en un recuperador de calor incorporado en la ventilación del edificio según las condiciones de renovación de aire indicadas en el Código Técnico de la Edificación en el documento de salubridad HS 3 (Figura 11). Se incorporan además condiciones de renovación de aire nocturna en verano.

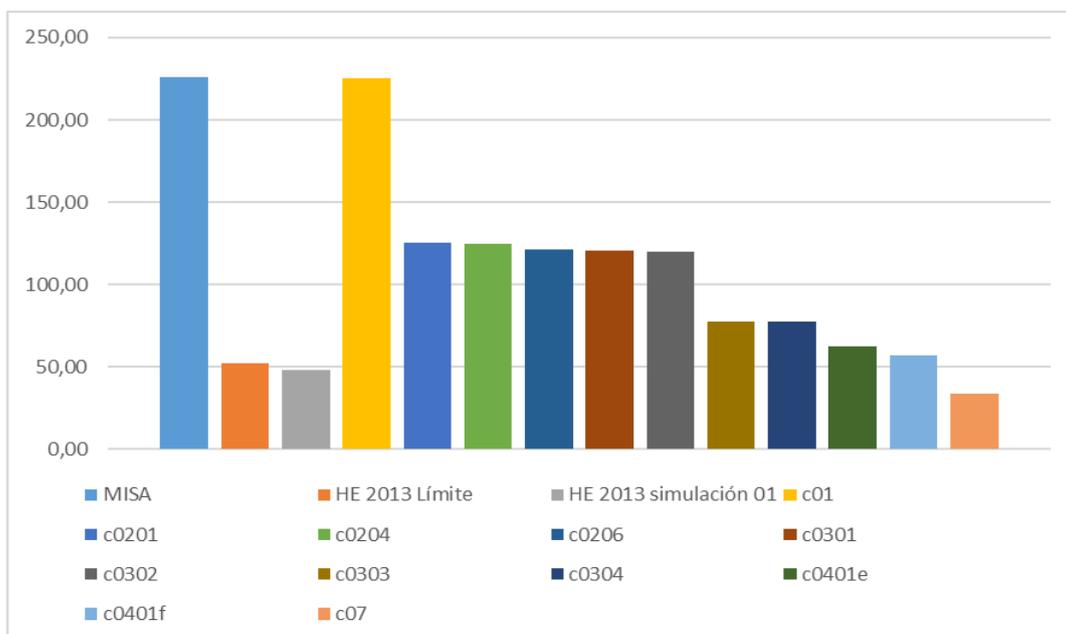
**Figura 11. Simulaciones de ventilación con recuperación de calor del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



#### 4.2. Fase BETA

A lo largo de la fase BETA se incorporan secuencialmente al modelo base las soluciones seleccionadas en cada una de las categorías de la fase ALFA. En la Figura 12 puede observarse el descenso de demanda obtenido en una primera aplicación de la fase.

**Figura 12. Simulaciones combinatorias de la fase BETA del modelo. Demanda de energía en kWh / (m<sup>2</sup>-año)**



Una vez incorporadas al modelo las soluciones elegidas contamos con un edificio pasivo al que se le realizan algunas correcciones. Por ejemplo, ya con una envolvente térmica

definitiva se puede realizar un análisis numérico de los puentes térmicos, corrigiéndose manualmente los elementos no detectados correctamente.

Finalmente se obtiene el modelo final pasivo. En la Tabla 1 y en la Figura 13 pueden observarse los resultados de los diferentes aportes y flujos térmicos del edificio, mensuales y anuales, así como la demanda final de verano e invierno del modelo.

**Tabla 1. Resultados de la simulación del modelo pasivo final**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/(m <sup>2</sup> .a))											
$Q_{tr,op}$	49,8	64,4	76,8	69,2	103,9	153,8	198,8	177	111,2	64,1	48,4	50,9	-2347,6	-28,6
	-391	-341	-373,9	-359,9	-304,1	-172	-152,5	-161,8	-183,7	-350,6	-345,4	-380,1		
$Q_{tr,w}$	0	0	0	0	1,1	15,6	27,3	24,8	12,2	0	0	0	-812,7	-9,9
	-120,5	-100,5	-105,4	-95,9	-82	-24,5	-15,8	-15,9	-25,9	-94,9	-97,5	-114,9		
$Q_{tr,ac}$	87,9	74,5	77,3	67,5	62,9	13	11,8	10,8	13,9	66,9	68,7	83,3		
	-87,9	-74,5	-77,3	-67,5	-62,9	-13	-11,8	-10,8	-13,9	-66,9	-68,7	-83,3		
$Q_{ve}$	22,6	29,2	34,8	31,4	46,2	60,5	82,4	70,2	45	29	22	23,1	-1593,8	-19,4
	-109,8	-97,7	-109,3	-108,7	-94,8	-364,9	-275,6	-279,8	-338,8	-103,6	-99,7	-107,3		
$Q_{int,s}$	292	265,1	293,8	284,8	292	284,8	293,8	292	286,6	292	283	295,5	3449,7	42,1
	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
$Q_{sol}$	109,8	117,1	148,5	133,5	135,1	148,1	166,4	187,3	190,5	150,8	118,9	99,3	1699,8	20,7
	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3		
$Q_{edif}$	-9,9	-27,7	-15,2	42,8	-103,2	-0,4	-40,7	9,2	73,4	14,2	54,9	2,5		
$Q_H$	157,9	91,8	51	3,7	6,8	0	0	0	0	0	16,2	131,6	459	5,6
$Q_C$	0	0	0	0	0	-100,2	-283	-301,9	-169,4	0	0	0	-854,5	-10,4
$Q_{HC}$	157,9	91,8	51	3,7	6,8	100,2	283	301,9	169,4	0	16,2	131,6	1313,5	16

$Q_{tr,op}$ : Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{tr,w}$ : Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{tr,ac}$ : Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica debida al acoplamiento térmico entre zonas, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{ve}$ : Transferencia de calor correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{int,s}$ : Transferencia de calor correspondiente a la ganancia de calor interna sensible, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{sol}$ : Transferencia de calor correspondiente a la ganancia de calor solar, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

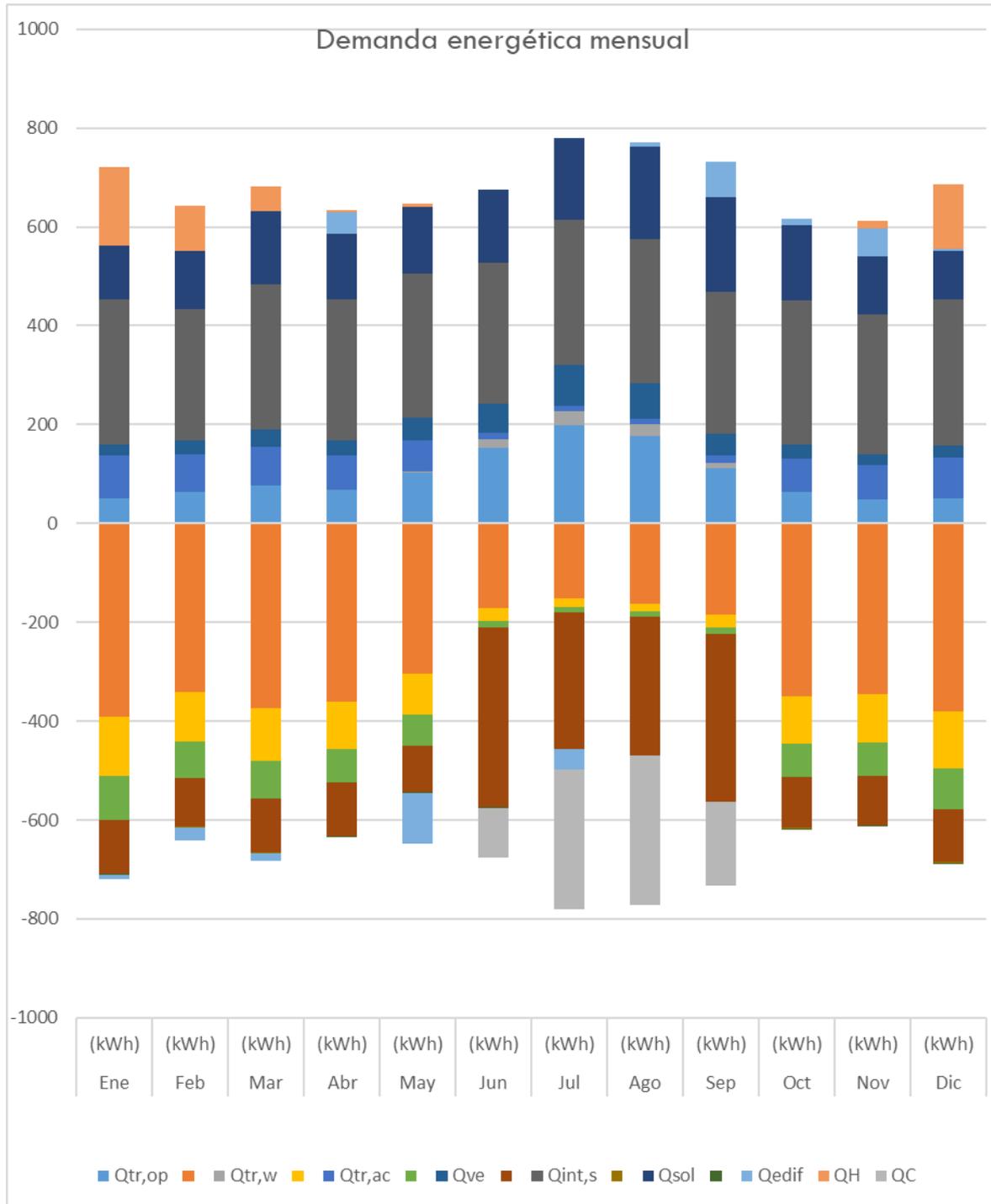
$Q_{edif}$ : Transferencia de calor correspondiente al almacenamiento o cesión de calor por parte de la masa térmica del edificio, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_H$ : Energía aportada de calefacción, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_C$ : Energía aportada de refrigeración, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

$Q_{HC}$ : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/(m<sup>2</sup>.año).

**Figura 13. Resultados de la simulación del modelo pasivo final**



## 5. Conclusiones.

La conclusión obvia del estudio, es que es necesario el análisis detallado de cada una de las categorías que afectan a la demanda energética de un edificio en orden a poder minimizar su demanda energética final. Si se analizan los resultados de cada una de las categorías de simulación por separado....

Los resultados finales de la simulación son positivos como puede observarse en los valores de demanda obtenidos de 5,6 kWh/(m<sup>2</sup>·año) de demanda de calefacción y 10,4 kWh/(m<sup>2</sup>·año) con respecto a la refrigeración. Éstos son inferiores a los límites fijados por el Código Técnico de la Edificación (32,20 y 20 kWh/(m<sup>2</sup>·año) para calefacción y refrigeración respectivamente) y a estándares como el Passivhaus, que fija límites de 15 kWh/(m<sup>2</sup>·año) tanto en calefacción y refrigeración, obteniéndose resultados en el modelo de estudio del orden del 66% y del 33% de la demanda límite del estándar (Passivhaus Institut, 2016), mediante la aplicación de niveles de aislamiento inferiores a los recomendados por el estándar.

El análisis ha sido realizado siguiendo las directrices de la norma UNE-EN ISO 13790. La utilización de métodos más exactos (es reconocido en la propia norma que se trata de un método preciso, pero simplificado), como la utilización de simulaciones dinámicas (usando software como Trnsys o Energy Plus) será necesario en edificios de mayor tamaño y complejidad.

La conclusión final debe ser que la tecnología actual permite, mediante la combinación de medidas pasivas (en orden de reducir la demanda de energía) y medidas activas (a fin de reducir el consumo de energía primaria no renovable) no sólo el diseño de los nZEB sino, incluso, alcanzar el edificio cero para las necesidades de operación del mismo y que, para ello, es necesario realizar una simulación completa de sus necesidades energéticas de antemano y, de este modo, evitar errores y optimizar el diseño de los mismos.

## 6. Referencias bibliográficas

Aenor. (2011). UNE-EN ISO 13790.

Buildings Performance Institute Europe. (2017). BPIE. Retrieved April 20, 2017, from <http://bpie.eu/>

Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R. L., Verheggen, B., Maibach, E. W., ... Rice, K. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11(4), 48002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>

España. Orden FOM/1635/2013, Real Decreto 67137–67209 (2013).

European Commission. (2017). Nearly zero-energy buildings. Retrieved April 4, 2017, from <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/nearly-zero-energy-buildings>

IPCC. (2013). *WG1AR5 Summary Volume*.

MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y TURISMO. (2016). *La Energía en España 2015*.

NASA. (2017). <https://climate.nasa.gov/evidence/>.

Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas. (2010). Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europea y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de La Union Europea*, 13–35. Retrieved from [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2010.153.01.0013.01.SPA](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2010.153.01.0013.01.SPA)

Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas. (2012). Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo 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. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 1–56.

Passivhaus Institut. (2016). [www.passiv.de](http://www.passiv.de/). Retrieved from <http://www.passiv.de/>

Scientific Visualization Studio, & Goddard Space Flight Center (NASA). (2016). Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015. Retrieved April 14, 2017, from [https://images.nasa.gov/#/details-analyses-reveal-record-shattering-global-warm-temperatures-in-2015\\_24476162096\\_o.html](https://images.nasa.gov/#/details-analyses-reveal-record-shattering-global-warm-temperatures-in-2015_24476162096_o.html)