

## **CUANTIFICACIÓN DEL BENEFICIO MEDIOAMBIENTAL DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA SOCIAL.**

<sup>1</sup>Palomero Cámara, J. I.; <sup>2</sup>López-Mesa, B.; <sup>3</sup>Mercader Moyano, M. P.  
<sup>1,2</sup>Unidad predepartamental de Arquitectura, Universidad de Zaragoza  
c/ María de Luna 3, Edificio Torres Quevedo, 50018, Zaragoza  
<sup>3</sup>Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla  
Avda. Reina Mercedes, 2, 41012, Sevilla  
e-mail: <sup>1</sup>palomero@unizar.es; <sup>2</sup>belinda@unizar.es; <sup>3</sup>pmm@us.es

### **RESUMEN**

Varios informes recientes sobre el sector de la edificación ponen de manifiesto que éste debe reorientarse hacia la adaptación del parque edificatorio existente a las nuevas exigencias. En el caso de la vivienda social, esto requiere, entre otras cuestiones, indicadores de ayuda en la toma de decisiones sobre el tipo de solución de rehabilitación de la envolvente a elegir.

Como para otros tipos de edificación, se considera que el principal componente del consumo energético de la vivienda social se debe al uso del edificio, es decir, a la denominada energía operacional. Por ello es conveniente mejorar energéticamente los edificios con gran disipación de energías no renovables, mediante el tratamiento de la piel del edificio, así como mediante la mejora de sus instalaciones. Se considera asimismo que el segundo factor por importancia del consumo energético es la energía incorporada por la construcción del edificio, o lo que es lo mismo, el coste energético de fabricación del edificio. Nos referimos al coste energético incorporado a los materiales, desde que estos son extraídos, pasando por su fabricación y transporte, hasta que son puestos en obra. La rehabilitación integral de la vivienda social, frente a la construcción de viviendas de nueva planta, aporta como ventaja la reutilización de una parte importante de la energía embebida en los materiales prolongando la vida de la vivienda. Además de estos costes energéticos, existen otros en el edificio, como los asociados a su fin de vida o a la energía embebida de los materiales de rehabilitación.

El objetivo de esta ponencia es recoger datos y cuantificar con la mayor precisión posible los valores de energía incorporada y operacional en cada fase de la vivienda social (construcción, uso, rehabilitación, uso post-rehabilitación), como método para evaluar objetivamente los beneficios medioambientales que la rehabilitación integral sostenible de la vivienda social puede aportar. Utilizamos como caso de estudio en esta ponencia la vivienda barata social de diseño regional aragonés.

Keywords: rehabilitación energética, vivienda social, energía operacional, energía incorporada.

## **1.- Necesidad de adaptación del parque de vivienda social existente a las nuevas exigencias.**

El cambio climático, achacado al exceso de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropógeno, se considera uno de los principales problemas medioambientales de la actualidad.

Con el fin de estabilizar la incidencia de los GEI en la atmósfera el protocolo de Kyoto estableció un primer periodo de compromiso 2008-12 en el que las emisiones de GEI de los países desarrollados debían reducirse en un -5,2%. La cuota de esfuerzo que correspondió a la Unión Europea fue del -8% y a España del +15%, es decir, que nuestro país podía aumentar sus emisiones netas siempre que no superara el límite del 15% respecto de las emisiones del año base de referencia, que era 1990 para las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y 1995 para las emisiones de hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

Asimismo en abril de 2009, la Unión Europea aprobó un paquete de medidas para alcanzar los objetivos conocidos como “20-20-20”, que consisten en la producción del 20% de la energía con fuentes renovables, la mejora de la eficiencia energética en un 20% y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un -20% respecto de 1990. A los sectores difusos, entre los que se encuentra el sector edificación (bajo el nombre residencial, comercial e institucional) la Unión Europea impuso como objetivo para el año 2020 reducir el -10% de las emisiones respecto a 2005. La cuota de esfuerzo para España es asimismo del -10%.

De acuerdo a la Directiva 2012/27/UE para alcanzar el 20% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, los Estados miembros deben establecer, entre otros, una estrategia a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación del parque nacional, cuya primera versión se deberá publicar a más tardar el 30 de abril de 2014. La mencionada estrategia se deberá actualizar cada tres años y será remitida a la Comisión en el marco de los Planes nacionales de acción para la eficiencia energética. Dicha estrategia comprenderá:

- a) un panorama del parque inmobiliario nacional basado, según convenga, en un muestreo estadístico;*
- b) una definición de enfoques rentables de renovación en relación con el tipo de edificio y la zona climática;*
- c) políticas y medidas destinadas a estimular renovaciones exhaustivas y rentables de los edificios, entre ellas renovaciones profundas por fases;*
- d) una perspectiva de futuro destinada a orientar las decisiones de inversión de las personas, la industria de la construcción y las entidades financieras;*
- e) un cálculo fundado en datos reales, del ahorro de energía y de los beneficios de mayor radio que se esperan obtener.*

Se desprende de los contenidos que debe tener la estrategia la importancia de disponer información al servicio de la Unión Europea y de las Administraciones públicas relativa a la diagnosis del parque edificatorio, a la rentabilidad de las actuaciones de renovación y a la medida de los beneficios energéticos y de mayor amplitud.

El sector residencial en España representa el 70% de las emisiones del sector edificación en 2011, según los datos de la serie 1990-2010 de acidificadores,

precursores de ozono y gases de efecto invernadero del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [1]. Por otra parte, si la carga del sector residencial en su conjunto es importante en relación a las emisiones de GEI del sector edificación, también lo es el de los conjuntos residenciales sociales de baja calidad, que en España se construyeron en las décadas de los 40, 50, 60 y 70. Por ejemplo, sólo en Zaragoza hay cerca de 200.000 viviendas construidas antes de ser de aplicación la primera normativa que estableció condiciones energéticas a la edificación española NBE-CT-79, que representan en torno al 60% de las 326.932 viviendas según el Censo 2011 de Población y Vivienda [2], con una cuota de consumo energético previsiblemente superior por las bajas calidades de la edificación. El número de viviendas sociales, con estándares de calidad muy bajos, construidas en Zaragoza entre 1945 y 1960 es de 8.551 [3].

Por tanto, la renovación del parque de vivienda social representa una prioridad para nuestra sociedad que requiere del desarrollo de estrategias investigadoras que desarrollen métodos para su diagnóstico, el estudio de su rentabilidad y la medida de sus beneficios energéticos y de mayor amplitud. En esta ponencia, nos centramos en la cuantificación del beneficio medioambiental de la rehabilitación energética de la vivienda social. Proponemos un método para llevar a cabo la contabilidad energética de la rehabilitación y lo aplicamos a un caso de estudio, el de la vivienda barata social de diseño regional aragonés [3].

## **2.- Estado del arte sobre la medida de los beneficios energéticos de la renovación del parque nacional edificatorio.**

Numerosos programas de cálculo están actualmente disponibles para la realización de simulaciones energéticas. Por un lado, encontramos los programas de certificación energética aplicables a los edificios de nueva planta como LIDER+CALENER para la opción general, o los métodos simplificados CES, CERMA, etc. Recientemente, se han creado los programas CE3X y CE3, con el fin de poner a disposición de los técnicos una herramienta para la certificación energética de edificios existentes. Constituyen métodos simplificados que usan como referencia el programa CALENER [4].

Por otro lado, existen programas para el cálculo energético de la edificación, como BSIM, Energy Plus, Design Builder, Ecotect, IES o EDSLtas, cada uno con sus respectivas ventajas. A nivel urbano, destaca el programa URSOS que permite la evaluación de conjuntos urbanos, y que actualmente se está adaptando para su aplicación a conjuntos existentes.

Asimismo, en el campo de la rehabilitación energética, se han realizado diversos estudios a nivel nacional e internacional sobre el parque edificatorio (E-RETROFIT-KIT 2006-2007 [5], NIRSEPES 2006-2007 [6], RESHAPE 2006-2008 [7], Rehenergía 2005-2008 [8], Revitasud 2003-2007 [9], informe WWF [10], informe GTR 2011 [11], Proyecto Sech-Spahousec [12], informe GTR 2012 [13]). Por ejemplo, dentro de este marco, se ha desarrollado el proyecto Rehenergía, que ha dado como resultado el estudio del potencial de la rehabilitación energética y la evaluación de los beneficios energéticos de la aplicación de medidas de rehabilitación. En estos estudios, se llega a conclusiones específicas, centradas en la mejora de la envolvente y las instalaciones. Otros también incluyen la dimensión social [9].

El Instituto para la Diversificación de la Energía (IDAE) desarrolló asimismo una colección de guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios con diferentes materiales aislantes y acristalamientos [14-19].

El Instituto Valenciano de Edificación (IVE) ha desarrollado el sistema integral de procedimientos para la rehabilitación energética de edificios existentes [20], que incluye: el Informe de Conservación del Edificio y Evaluación Energética (ICE), la herramienta CERMA Rehabilitación, el catálogo de soluciones constructivas para la rehabilitación y el sistema de certificación denominado Perfil de Calidad de rehabilitación. El sistema integral tiene por objetivo crear una base de datos de edificios con ITE para la mejor caracterización del parque construido en la Comunidad Valenciana y establecer un protocolo de actuación que no sólo atienda al deber de conservación de los edificios, sino también los problemas de eficiencia energética y accesibilidad de los mismos. La herramienta ICE recoge información relativa al estado de conservación de los elementos comunes del edificio, así como del comportamiento energético de su envolvente térmica. El catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación, aprobado por la *Conselleria* de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente como documento reconocido para la calidad en la edificación, recoge una amplia base de datos de elementos constructivos de la envolvente de los edificios entre 1940 y 1980 y sus posibles soluciones de rehabilitación, incorporando prestaciones térmicas, detalles constructivos y criterios de selección. La herramienta CERMA Rehabilitación permite realizar la certificación energética y analizar las estrategias de rehabilitación que van a producir mayor ventaja energética. El Perfil de Calidad de Rehabilitación es un distintivo voluntario para expresar que un edificio rehabilitado tiene un comportamiento superior al marcado por la normativa existente en lo relativo a ahorro energético y accesibilidad.

Por tanto, podemos afirmar que hasta la fecha, la labor de investigación en el campo de la rehabilitación energética ha centrado fundamentalmente en los consumos energéticos. Este primer paso parece acertado, sin embargo, el consumo energético de los edificios engloba más aspectos que el del consumo durante su fase uso. Cabe plantearse si centrarse en las ventajas energéticas de la rehabilitación debidas a los ahorros en el consumo de las fases de uso del edificio es suficiente o no para valorar la sostenibilidad de las intervenciones dado que también el proceso de rehabilitación supone unos impactos ambientales y unos costes que los hacen más o menos recomendables.

Así, por ejemplo, Ruá et al. [21] señalan que en edificios residenciales de nueva construcción el comportamiento energético de la fachada ventilada es mejor que el de las fachadas de doble hoja cerámica con aislamiento interior, pero que sin embargo, el uso del aluminio en la fachada ventilada, material altamente impactante en su fabricación incluso cuando tiene un alto porcentaje de reciclado, no siempre compensa las ventajas de ahorro energético. De este modo, los requerimientos de eficiencia energética trascenderían del diseño mismo de los edificios y del proceso constructivo para alcanzar fases previas atinentes a los materiales y posteriores relativas a la fase final de los residuos que genera el proceso de edificación. Este mismo concepto se puede aplicar a la intervención en edificios existentes, que con cierta frecuencia se rehabilitan con soluciones tipo fachada ventilada, dado que esta solución permite la intervención en la fachada desde el exterior. Por tanto, un importante vacío científico por cubrir es la medida de los beneficios energéticos de diferentes soluciones de rehabilitación de la envolvente desde el punto de vista de sus impactos ambientales, considerando tanto los ahorros energéticos como las

cargas ambientales de los materiales. Para ello es necesario un modelo para evaluar la sostenibilidad de la rehabilitación de la edificación que desarrollamos a continuación.

### **3.- Objetivo y metodología de investigación.**

El objetivo de esta ponencia es, por un lado, proponer un modelo para la valoración de la sostenibilidad de las intervenciones en la vivienda social, que nos permita en un futuro próximo realizar cuantificaciones medioambientales de edificios a rehabilitar de diferentes tipologías constructivas y edificatorias, así como comparar el beneficio medioambiental aportado por las diferentes soluciones de rehabilitación de la envolvente con sus costes.

Por otro lado, en esta ponencia buscamos aplicar el modelo propuesto a un estudio de caso, para lo que será necesario cuantificar los materiales del edificio original, así como los materiales empleados en la rehabilitación. Emplearemos como caso de estudio un edificio piloto rehabilitado por la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda. Tras la cuantificación podremos analizar la energía embebida en los materiales, y compararlo con los ahorros energéticos conseguidos con la rehabilitación. Asimismo podremos obtener impactos ambientales de los materiales de rehabilitación, de manera que se puedan hacer estudios comparativos entre ellos.

### **4.- Propuesta de modelo para la cuantificación de la energía consumida por la vivienda social.**

El consumo energético durante el uso del edificio se considera el principal componente del consumo de la edificación. El segundo factor por importancia es la energía incorporada por la construcción del edificio, o lo que es lo mismo, el coste energético que implica su fabricación. Nos referimos al coste energético incorporado a los materiales, desde que estos son extraídos, incluida su fabricación y transporte, hasta su puesta en obra. La incidencia del coste energético de fabricación sobre el total del consumo energético de los edificios depende de diversos factores:

- de la durabilidad del edificio: duplicar la vida útil de un edificio reduce su coste energético anual de fabricación a la mitad.
- de la intensidad de uso: utilizar un edificio la mitad del año aumenta al doble su coste energético anual de fabricación.
- de los métodos constructivos empleados y de los materiales utilizados: un sobredimensionado al doble de los materiales empleados duplica el coste energético de fabricación.
- de la eficiencia energética del edificio: un edificio con la mitad de consumo que otro aumenta la cuota de incidencia de su coste energético de fabricación.

Establecer unos porcentajes universalmente aplicables a la energía incorporada en los materiales de construcción en relación a la energía total consumida es, por tanto, difícil. En la literatura [22-24] se aportan valores que oscilan entre el 2% y el 46% de la energía total consumida. La alta disparidad de estos valores pone de manifiesto la necesidad de generar información más detallada de la energía incorporada a los materiales y de la energía operacional de la fase uso en función de las tipologías edificatorias y constructivas, del uso del edificio, etc.

Además de estos costes energéticos, existen otros, como los asociados al fin de vida del edificio o a la rehabilitación. López-Mesa [25] propone el modelo de

componentes del consumo energético de la edificación de la figura 1, a partir de la adaptación del modelo de Yohanis y Norton [22].

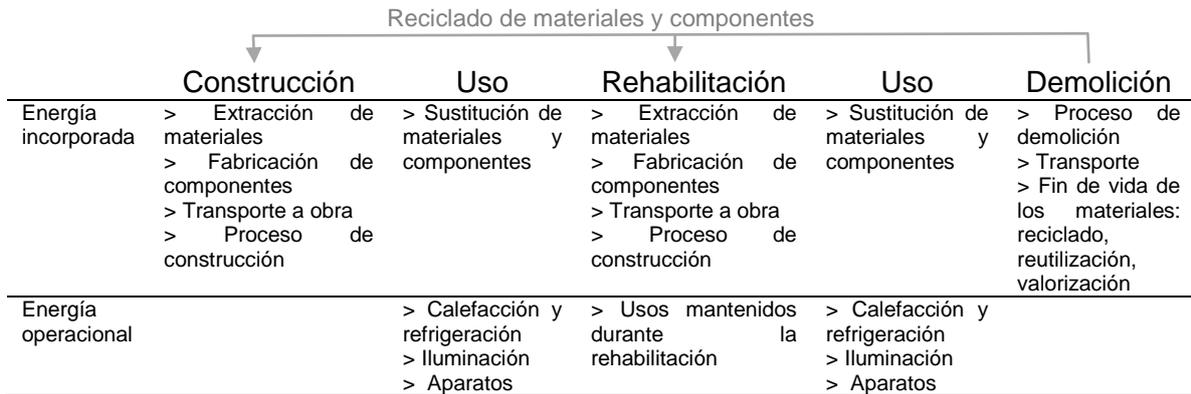


Figura 1. Componentes del consumo energético de la edificación [25], adaptado de [22].

Para poder evaluar la sostenibilidad de la rehabilitación de la edificación es necesario tener en cuenta todos estos componentes del consumo energético de la edificación, o al menos los más representativos. En un estudio reciente del reparto del consumo energético en las distintas fases del ciclo de vida de un edificio, se encontró que las fases de derribo y gestión de residuos, transporte y puesta en obra sumadas no representan más del 5% del total [26]. Cabe pensar asimismo que los usos mantenidos durante la rehabilitación producirán proporcionalmente consumos bajos porque la obra de rehabilitación será reducida en el tiempo en comparación con la vida útil total del edificio. Por ello, podemos suponer que los componentes más importantes serán:

- Energía incorporada de los materiales de construcción, incluyendo la extracción de materiales más la fabricación de componentes.
- Energía operacional durante la fase de uso previa a la rehabilitación, incluyendo la calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Energía incorporada de los materiales de rehabilitación, incluyendo la extracción de materiales más la fabricación de componentes.
- Energía operacional durante la fase de uso posterior a la rehabilitación, incluyendo la calefacción, refrigeración y producción de ACS.

La contabilidad total es conveniente pasarla a CO<sub>2</sub>-eq, dado que el mismo consumo de energía proveniente de diferentes fuentes de energía produce diferentes emisiones de GEI. Proponemos, por ello, la siguiente contabilidad medioambiental para toda la vida del edificio:

$$\begin{aligned}
 E (CO_2eq)_{totales} &= \\
 &= E (CO_2eq)_{construcción} + E \left( \frac{CO_2}{año} \right)_{uso_0} \cdot Vida (años)_0 \\
 &+ \sum_{i=1}^n E (CO_2eq)_{rehabilitación\ n} + \sum_{i=1}^n E \left( \frac{CO_2}{año} \right)_{uso_n} \cdot Vida (años)_n
 \end{aligned}$$

Donde:

- E(CO<sub>2</sub>eq) son las emisiones de GEI totales del edificio.
- E (CO<sub>2</sub>eq)<sub>construcción</sub> son las emisiones de GEI asociadas a la energía incorporada en la fase de construcción.

- $E (\text{CO}_2/\text{año})_{\text{uso0}}$  son las emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  asociadas a la energía operacional desde que el edificio se construyó hasta su primera rehabilitación.
- $\text{Vida (años)}_0$  es el número de años desde la construcción del edificio hasta su primera rehabilitación integral.
- $E (\text{CO}_2\text{eq})_{\text{rehabilitación } n}$  son las emisiones de GEI asociadas a la energía incorporada a la rehabilitación integral  $n^{\circ}$   $n$  realizada al edificio.
- $E (\text{CO}_2/\text{año})_{\text{uson}}$  son las emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  asociadas a la energía operacional entre una rehabilitación integral y la siguiente, o entre la última rehabilitación y el fin vida del edificio.
- $\text{Vida (años)}_0$  es el número de años entre una rehabilitación integral y la siguiente, o entre la última rehabilitación y el fin de vida del edificio.

## 5.- Caso de estudio.

Este artículo utiliza como caso de estudio el bloque de viviendas sociales del Grupo Girón en la ciudad de Zaragoza rehabilitado por los arquitectos Gerardo Molpeceres y Monserrat Abad. Se trata de uno de los cinco proyectos piloto cuya rehabilitación integral fue subvencionada por el Ayuntamiento de Zaragoza, el Gobierno de Aragón y el Ministerio de Vivienda, y gestionada por el Ayuntamiento desde su Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda en las zonas ARI (Áreas de Rehabilitación Integrada) de la ciudad de Zaragoza. El inmueble fue construido en 1956 y su rehabilitación se inició a finales del año 2009, finalizando en agosto de 2010, en un proceso de gestión basado en el acompañamiento técnico y social de los propietarios. Nos proponemos a continuación a definir la tipología edificatoria, constructiva y patológica del mismo para evaluar la representatividad del caso de estudio.

Es un bloque en L con una doble crujía de 7 metros, con gruesos muros de carga paralelos a fachada que alberga 40 viviendas, con una superficie total habitable aproximada de  $1.660 \text{ m}^2$ . Presenta aproximadamente  $279 \text{ m}^2$  de fachada tanto a este como oeste, y  $670 \text{ m}^2$  tanto a norte como a sur, con un porcentaje de huecos en todas sus fachadas del 20% aproximadamente. Las viviendas tienen una superficie útil entre  $37$  y  $40 \text{ m}^2$ . En el estudio de la vivienda social construida entre 1945 y 1960 realizado por la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda [3], se especifica que este tipo de edificios se clasifica dentro del grupo de viviendas baratas sociales de diseño regional, construidas en la década de los 50 en Aragón, existiendo en Zaragoza 111 edificios con estas características que albergan 3.571 viviendas, lo que representa el 41,72% de las viviendas sociales de Zaragoza. Todos estos edificios tienen doble crujía con muros de carga paralelos a fachada, cubierta inclinada con cobertura de teja curva cerámica y forjado unidireccional armado o pretensado. Todos presentan un porcentaje similar de huecos en fachada. En el mismo grupo Girón, con un total de 790 viviendas [27], la orientación dominante de la edificación (19 de los 27 edificios) es la que presenta el bloque estudiado (figura 2).

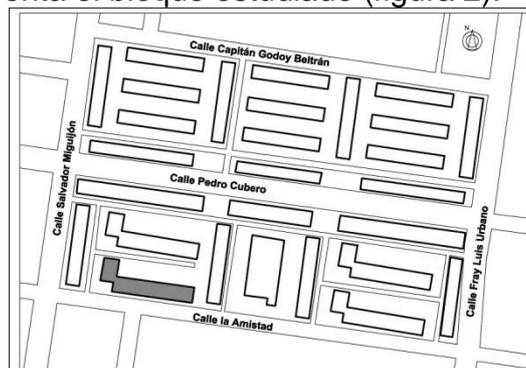


Figura 2. Grupo Girón de Zaragoza (sombreado gris el edificio rehabilitado).

Las patologías que presentaba el bloque rehabilitado del grupo Girón eran similares a las que presentaban el resto de bloques del mismo grupo. Estas eran relativas a las cubiertas, fachadas, instalaciones generales, accesos, consumo energético y urbanización [3]. Podemos por tanto pensar que los resultados del estudio que aquí se realiza son, al menos, representativos para unas 550 viviendas sociales de Zaragoza. Su aplicabilidad a otros edificios en la misma ciudad y con la misma tipología es limitada fundamentalmente por ser diferente su orientación y datos microclimáticos.

En la rehabilitación, los núcleos de escaleras del edificio original se demolieron para levantar nuevos núcleos de comunicaciones que permitieran la incorporación de un ascensor en cada portal. En relación a las fachadas, los principales problemas eran de filtraciones y degradación de revocos, humedades por capilaridad provenientes del terreno, ausencia de aislamiento y carpintería inadecuada. Además, existía un gran desorden en la ubicación y en la formalización de los elementos añadidos en fachada, como era el caso de las unidades exteriores de climatización y de los tendederos en los que la ropa quedaba a la vista desde el espacio público. Como solución, se dotó a las viviendas de tendederos exteriores configurados a modo de balcones cerrados mediante piezas cerámicas sobre perfiles de acero galvanizado en la parte inferior y lamas de aluminio en la superior que permiten la ventilación e impiden la visión desde el exterior. Disponen a su vez de un trámex galvanizado para la colocación de las unidades exteriores de climatización, quedando todos los elementos añadidos integrados y ocultos (figura 3). Para aumentar el aislamiento de la fachada original de ladrillo macizo se colocó un aislamiento térmico exterior y un revestimiento de paneles cerámicos con cámara ventilada. En los interiores de los tendederos se trasdosó la fachada original con placas de poliestireno expandido revestidas de mortero, tipo Coteterm. Los nuevos núcleos de ascensores y escaleras se realizan con fábrica de ladrillo gero revestida por paneles de aluminio con aislamiento térmico y/o con acristalamientos con vidrio aislante. Se han mantenido las ventanas existentes y se han colocado otra a haces exteriores a modo de doble ventana con perfilaría de aluminio lacado con vidrio aislante 4+6+4 mm. Para paliar el problema de las humedades provenientes del terreno, se dispuso un relleno de grava filtrante perimetral y se canalizaron las bajantes de pluviales. En las cubiertas, se incluyó aislamiento en la cámara ventilada, se repararon los desperfectos en los aleros y se retiraron las tejas sustituyéndolas por otras nuevas sobre lámina impermeabilizante tipo Onduline. Aprovechando la solución de fachada ventilada se procedió a la reordenación de las instalaciones, de los huecos de ventilación y de evacuación de humos para su adaptación a la normativa vigente. Asimismo se creó una nueva red comunitaria de calefacción y ACS, que incluía energía solar térmica.

Green Building Challenge España (GBCe) [27] publicó un dossier que recogía los resultados de un estudio de la calificación energética del mismo edificio, usando el programa experimental para edificios existentes IAAE-CENER. La tabla 1 recoge los datos de transmitancia de los elementos de la envolvente antes y después de la rehabilitación obtenidos de [27] y los límites exigidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE). Puede observarse que a excepción de la solera y del 10% de las ventanas, todos los elementos de la envolvente cumplen con cierta holgura los límites establecidos por el CTE. No se intervino en la solera dado que la rehabilitación se realizó manteniendo en todo momento la ocupación de las viviendas, incluso las de la planta baja. En la simulación con el programa IAAE-CENER se obtuvo, para el edificio sin rehabilitar, una calificación energética E, con

unas emisiones de 198 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, y una calificación energética B, con unas emisiones de 14,10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, para el edificio rehabilitado [27]. En este mismo estudio se recogían los datos de la tabla 2, según los cuales se consiguió un ahorro en torno al 60% en demanda de calefacción, 94% en emisiones de calefacción y 93% en emisiones de ACS.



Figura 3. Edificio rehabilitado del Grupo Girón de Zaragoza.

Elemento	Superficie (m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	U (W/m <sup>2</sup> ·K) sin rehabilitar <sup>1</sup>	U (W/m <sup>2</sup> ·K) rehabilitado <sup>1</sup>	U <sub>lim</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	U <sub>máx</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)
Cubierta	410,90	4,14	0,36	0,38	0,49
Solera	312,52	1,60	1,60	0,49	0,64
	140,42	2,35	2,35		
Fachada	1.897,83	1,37	0,40	0,66	0,86
Huecos	223,26	5,70	2,22	3,00-3,50	3,50
	101,50	5,70	3,05		
	36,80	5,70	4,36		

Tabla 1. Comparativa de los datos de transmitancia del edificio antes de rehabilitar y tras la rehabilitación con los límites del CTE (<sup>1</sup>Datos de la fuente: [27]).

Edificio	Demanda de calefacción (kW·h/m <sup>2</sup> )	Demanda de refrigeración (kW·h/m <sup>2</sup> )	Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Sin rehabilitar	170,3	0,0	184,2	0,0	14,4
Rehabilitado	68,4	2,6	10,9	2,2	1,0

Tabla 2. Ahorro energético obtenido con la rehabilitación del bloque (fuente de los datos: [27]).

## 6.- Cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio

### 6.1- Cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio asociadas a la energía incorporada en la fase de construcción y la de rehabilitación integral

La cuantificación se realiza mediante el banco de detalles constructivos BEDEC desarrollado por el ITeC [28]. Es un banco paramétrico que contiene más de

700.000 elementos de obra nueva y mantenimiento de edificación, urbanización, ingeniería civil, rehabilitación y restauración, seguridad y salud, ensayos de control y gastos indirectos, con precios de referencia para todas las provincias y datos medioambientales (residuos de obra y de embalaje, coste energético y emisión de CO<sub>2</sub>), entre otros.

El banco de detalles muestra el coste energético y la emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de medida. Para cada elemento constructivo y/o maquinaria se especifican sus materiales constitutivos y para cada material constitutivo se indica la repercusión en el material y/o maquinaria correspondiente. En este trabajo hemos calculado el coste energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de todas las partidas de las obras de construcción y rehabilitación a partir de los datos unitarios de los elementos unitarios en BEDEC por sus mediciones.

Se indica en el documento de contenidos y criterios de BEDEC [29] que:

- Para los elementos constructivos, las fases contempladas en el coste energético y sus emisiones asociadas incluyen el proceso de extracción, el transporte del origen a la fábrica y el proceso de transformación en fábrica de sus materiales constitutivos, no contemplándose la transformación del material en un elemento específico (por ejemplo, la transformación del acero en un tubo, perfil o plancha) ni el transporte del material del almacén del fabricante hasta la obra.
- Para la maquinaria, el coste energético contempla el consumo de la máquina durante su funcionamiento en el proceso de ejecución del elemento unitario, referido a la unidad de medida de la máquina. Asimismo queda especificado que sólo se contemplan las máquinas que intervienen en la justificación de precios de los elementos unitarios.

Agrupados por capítulos, se recogen los cálculos de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a los costes energéticos incorporados de las fases de construcción y rehabilitación en la figura 4. El eje “y” se muestra en escala algorítmica. Puede observarse que las partidas que más contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub> son la estructura del edificio original (por el hormigón de los forjados y la masividad de los muros portantes de ladrillo macizo), con más de 600 t CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera, las fachadas y aislamientos de la rehabilitación (fundamentalmente por el aluminio y la cerámica de la fachada ventilada) con casi 200 t CO<sub>2</sub>, y las carpinterías y cerrajerías de la rehabilitación (por las altas emisiones del aluminio lacado) con más de 375 t CO<sub>2</sub>. Estas tres partidas representan cerca del 60% del total de las emisiones por la energía embebida en el edificio rehabilitado, de algo más de 2.000 t CO<sub>2</sub>.

Cabe asimismo señalar que si en lugar de haber sido la fachada ventilada con revestimiento cerámico la solución más ampliamente usada en la rehabilitación, hubiese sido la de aislamiento exterior con mortero tipo Coteterm, según los datos unitarios de BEDEC el impacto ambiental habría sido aún mayor, debido a las altas emisiones que conlleva el uso del adhesivo copolímero acrílico en esta segunda solución.

## **6.2- Comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio en sus diferentes fases**

Los datos de la tabla 2 obtenidos del estudio de la mejora energética que se realizó con la IAAE-CENER [27], y los datos de la figura 4, nos han permitido realizar una comparativa entre las emisiones asociadas a la energía embebida y la operacional

en las diferentes fases del edificio, que reflejamos en la figura 5. Esta figura deja patente la conveniencia medioambiental de la mejora energética de la edificación existente, dado que en el cómputo global de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio, la energía operacional previa a la rehabilitación representa más del 85% del total, para una vida de 54 años, mientras que la energía operacional después de la rehabilitación para una vida de 25 años representa menos del 3% del total.

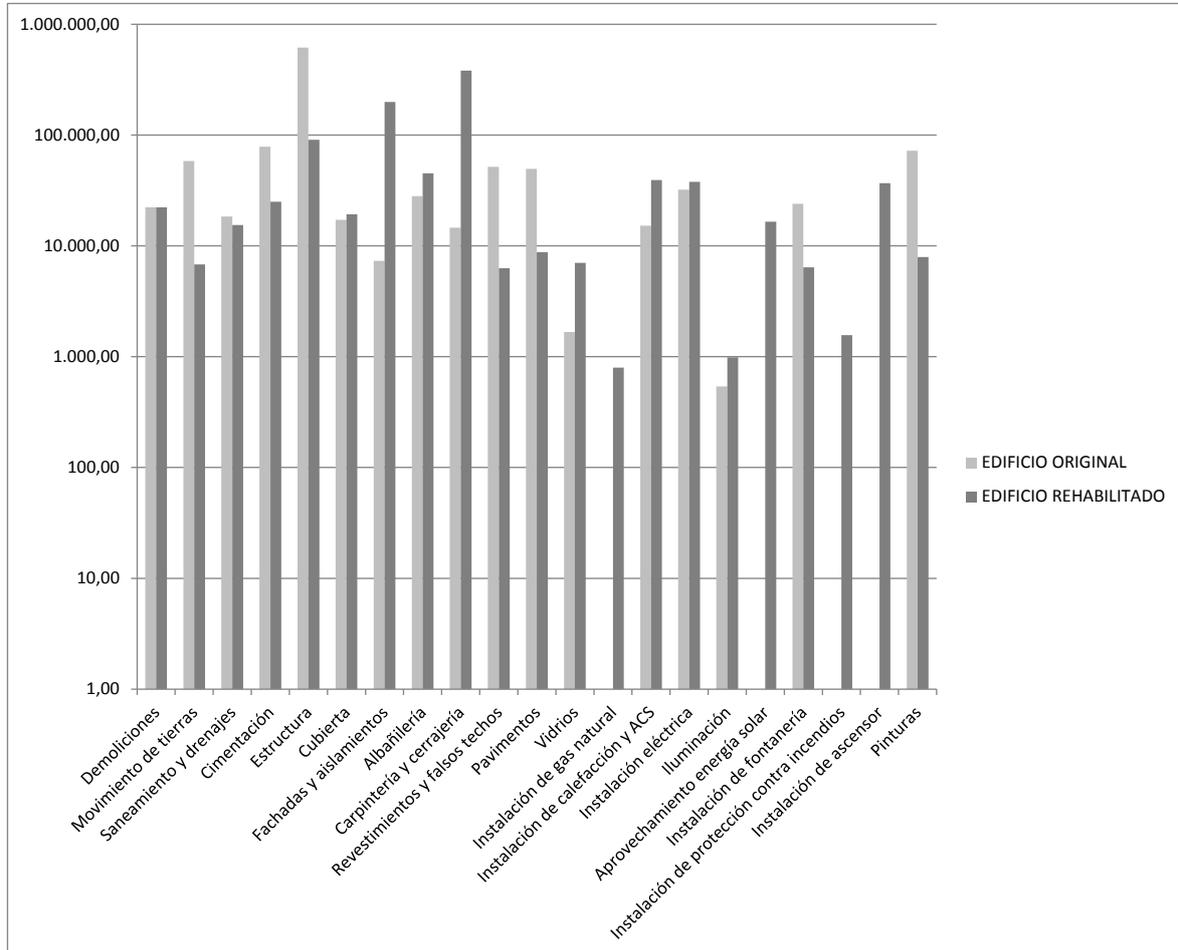


Figura 4. Kilogramos de CO<sub>2</sub> asociadas a los costes energéticos incorporados para las fases de construcción y rehabilitación por el bloque residencial rehabilitado del grupo Girón, distinguiendo entre las emisiones del edificio original y las del rehabilitado.

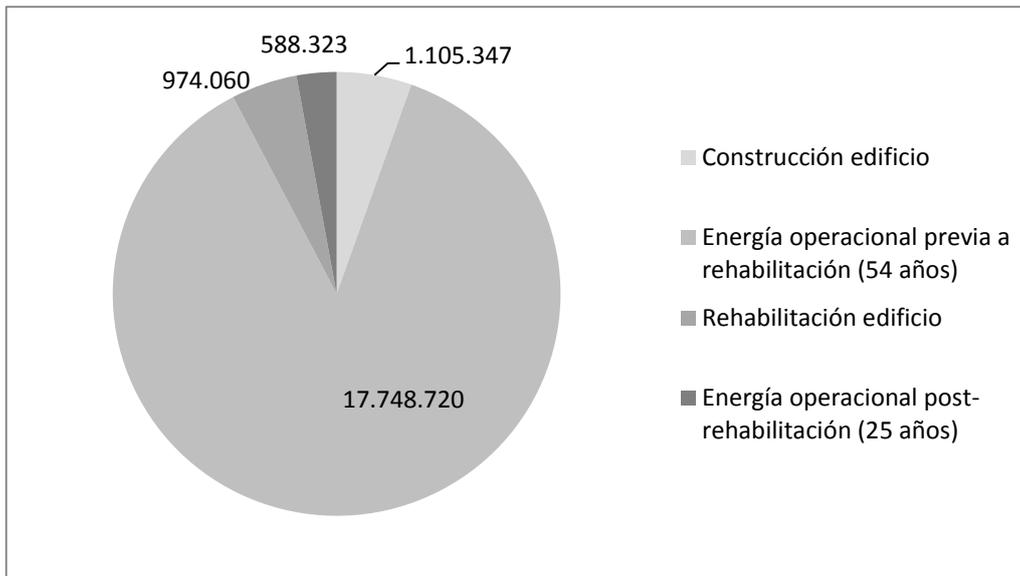


Figura 5. Distribución de los kg de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera por el bloque residencial rehabilitado del grupo Girón en las diferentes fases del edificio.

### 6.3- Análisis de costes

A partir de los datos de la tabla 2, obtenidos del estudio de la mejora energética que se realizó con la IAAE-CENER [27], y de los coeficientes de paso desde energía final a emisiones de CO<sub>2</sub> en el anexo VI de la publicación *Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER* [30], hemos estimado los datos de consumo de la tabla 3.

Estos datos nos han permitido realizar una estimación aproximada del periodo de amortización de la inversión realizada. El Presupuesto de Ejecución Material de las obras (PEM), incluida la reurbanización, proyecto y la gestión fue de 43.000 €/vivienda, con una subvención media del 75% [27], por lo que a los propietarios les supuso 10.750 €/vivienda. Estimando la amortización a partir de las tarifas vigentes de electricidad a partir del 1 de abril de 2013, publicadas en el BOE de 29 de marzo de 2013, y las tarifas vigentes de gas natural a partir del 1 de enero de 2013, publicadas en el BOE 31 de diciembre de 2012, y sin considerar los costes de mantenimiento, obtenemos un periodo de amortización para el PEM total de casi 25 años y para el PEM asumido por los propietarios de algo más de 6 años.

Edificio	Consumo calefacción anual (kW·h)	Consumo refrigeración anual (kW·h)	Consumo ACS anual (kW·h)
Sin rehabilitar	471.143,3	0,0	36.832,0
Rehabilitado	88.696,1	5.627,1	8.137,3

Tabla 3. Estimación de datos de consumo energético del edificio.

Se sabe que las ayudas para la rehabilitación integral de la vivienda social no serán tan elevadas como en el caso de este proyecto piloto. Suponiendo que las ayudas alcancen un límite de 5.000 €/vivienda, y teniendo en cuenta la reducción de los costes de construcción en un 30% desde el comienzo de la crisis, podemos pensar que hoy día se podría acometer una rehabilitación similar con un PEM a asumir por los propietarios del orden de 25.000 €/vivienda. Estos costes son difícilmente asumibles por una población con escasos recursos económicos como la residente en la vivienda social. Suponen además unos tiempos de amortización elevados, en

torno a los 14 años, estimados bajo los mismos supuestos anteriores. Por ello, podemos concluir que la selección de soluciones para la rehabilitación no sólo requiere el estudio de las soluciones más medioambientales, sino además el análisis de costes, que determinará en gran medida la viabilidad o no de las propuestas de rehabilitación.

## 7.- Conclusiones

En este artículo hemos propuesto un modelo de cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los edificios y lo hemos aplicado a un caso de estudio, consistente en un bloque de viviendas sociales rehabilitado de Zaragoza. El estudio nos ha permitido constatar la importancia de la rehabilitación energética del parque de viviendas de baja calidad para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, dado que en el cómputo global de las emisiones de este tipo de edificios las emisiones asociadas a la energía operacional antes de la rehabilitación pueden representar hasta el 85%. Las emisiones debidas a la energía embebida en los materiales de rehabilitación tienen una influencia muy inferior en el caso de viviendas de bajo estándar energético. Sin embargo, la viabilidad de las actuaciones de rehabilitación se verá en gran medida condicionada por el coste de las obras, y por tanto de sus materiales. Creemos que es necesaria la aplicación del modelo de cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los edificios aquí propuesto a otras tipologías de viviendas a rehabilitar junto con la realización de análisis de costes más pormenorizados que el presentado en esta ponencia.

## REFERENCIAS

- [1] MAGRAMA (2012) *Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera*, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/> Acceso el 03.04.2013.
- [2] INE (2013) *Censo de Población y Vivienda 2011*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. [http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_inicio.htm](http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm) Acceso el 03.04.2013
- [3] Rubio del Val, J. y Ruiz Palomeque, L. G. (2006) *Nuevas propuestas de rehabilitación urbana en Zaragoza*, Sociedad Municipal de Rehabilitación Urbana de Zaragoza, Zaragoza.
- [4] IDAE (2012) *Procedimientos de certificación energética para edificios existentes. Informe ejecutivo*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.
- [5] E-RETROFIT-KIT (2006-2007), project *Tool-Kit for Passive House Retrofit, co-funded by the European Union under the Intelligent Energy-Europe Programme* <http://www.energieinstitut.at/retrofit/?id=19d654448a586cc81ddfe5b7c99b4bb6&to=0&dmy=3eefd5529968a11f91a217328c1f9651> Acceso el 20.12.2012.
- [6] NIRSEPES (2006-2007) project *New Integrated Renovation Strategy to improve Energy Performance of Social housing (NIRSEPES)*, co-funded by the European Union under the Intelligent Energy-Europe Programme <http://www.nirsepes.eu> Acceso el 20.12.2012.
- [7] RESHAPE (2006-2008), project *Retrofitting Social Housing and Active Preparation for EPBD (RESHAPE)*, co-funded by the European Union under the Intelligent Energy-Europe Programme <http://www.reshape-social-housing.eu/index.html> Acceso el 20.12.2012.
- [8] Rehenergía (2005-2008) proyecto *Rehabilitación energética de edificios de viviendas*. Instituto Cerdá. <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/E211018F-40C5-411B-B2CB-EE951F97BC3A/98660/Eviladomiu1.pdf> Acceso el 20.12.2012.
- [9] Revitasud (2003-2007) proyecto *Estudios y elaboración de propuestas piloto de revitalización urbana en barrios residenciales transfronterizos (1945-1960)*. <http://www.adigsa.cat/wps/wcm/connect/0afd2c0045a49da7901d949b28e74931/ConferenciaFinalRevitasud.pdf?MOD=AJPERES> Acceso el 20.12.2012.
- [10] WWF España (2010). *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020*. WWF/Adena, Madrid.

- [11] Cuchí, A., Sweatman, P. (2011) *Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda*. Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR), Green Building Council España, Fundación CONAMA, Madrid.
- [12] IDAE (2011). *Proyecto Sech-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, Madrid.
- [13] Cuchí, A., Sweatman, P. (2012) *Informe GTR 2012. Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda*. Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR), Madrid.
- [14] IDAE (2008) Soluciones de aislamiento con poliestireno expandido (EPS). *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 1*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [15] IDAE (2008) Soluciones de aislamiento con poliestireno extruido (XPS). *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 2*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [16] IDAE (2008) Soluciones de aislamiento con lana mineral. *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 3*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [17] IDAE (2008) Soluciones de aislamiento con poliuretano. *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 4*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [18] IDAE (2008) Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado. *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 5*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [19] IDAE (2008) Soluciones de aislamiento con espumas flexibles. *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios nº 6*. Madrid, Instituto para la Diversificación de la Energía.
- [20] IVE (2013) *Sistema integral de procedimientos para la rehabilitación energética de edificios existentes*. Instituto Valenciano de Edificación, Valencia. <http://www.five.es/descargas/archivos/ProcedimientosParaRehabilitacionEnergetica.pdf> Acceso el 19.04.2013.
- [21] Rúa, M.J., López-Mesa, B., Vives, L., Civera, V. (2012) Environmental advantage of back-ventilated façades in comparison with brick cavity walls in residential buildings. In: *Advances in Energy Research*, Volume 8. Ed. Morena V. Acosta, Nova Science Publishers.
- [22] Yohanis, Y.G., Norton, B., (2002) Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK, *Energy*. **27**, 77-92.
- [23] Sartori, I., Hestnes, A.G. (2007) Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, *Energy and Buildings*. **39**, 249-257.
- [24] Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., Scarpellini, S. (2009) Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, *Building and Environment*. **44**, 2510-2520.
- [25] López-Mesa, B. (en prensa) Reflexiones sobre rehabilitación sostenible en Canfranc. En: Monclús, J., López-Mesa, B., de la Cal, P. (Ed.) *Repensar Canfranc. Taller de rehabilitación urbana y paisaje 2012*. Instituto Fernando el Católico, Zaragoza.
- [26] Energía y rehabilitación (2012) Ciclo de vida de los edificios <http://www.energiayrehabilitacion.com/ciclo-de-vida/#more-609> Acceso 19.04.2013.
- [27] Green Building Challenge (2011) *Seleccionados los 16 edificios que representarán a la arquitectura española en el Green Building Challenge de Helsinki*. <http://www.gbce.es/es/noticia/seleccionados-los-16-edificios-que-representaran-la-arquitectura-espanola-en-el-green-buildi> Acceso el 22.02.2013.
- [28] ITeC (2013) Banco de detalles BEDEC. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya <http://www.itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx> Acceso entre 22.01.2013 y el 19.03.2013.
- [29] ITeC (2013) *BEDEC. ITeC. Contenido y criterios*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona.
- [30] AICIA (2009) Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos. Publicación del Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de

Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla para el Ministerio de Vivienda y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el apoyo económico recibido por la Universidad de Zaragoza y el Banco Santander, proyecto UZ2012-TEC-03. Asimismo agradecemos al estudiante en prácticas Jorge Casado, del Ciclo Superior de Proyectos de Edificación del CPI FP Corona de Aragón, la ayuda en la realización de la figura 2.