

# IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN: ENERGÍA INCORPORADA DE LOS MATERIALES. ESTUDIO DE DOS CASOS: EDIFICIO NUEVA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICIO REMODELACIÓN

Rodríguez, F.; Fernández, G. <sup>(p)</sup>

## Abstract

The new Technical Building Code (CTE) provides the energy consumption and carbon dioxide emissions during the operational phase of a building. It is certainly a step forward. However, the economic and emission cost due to the material extraction, manufacture, transport and use (embodied energy of the materials employed in the construction phase) may prove important and even more if we try to improve the energy certification of the building, with the corresponding increases of isolation, better glazing, etc.

Two cases studies are shown (new construction and refurbishment) with a cost analysis and a carbon analysis as a result of an improvement in the energy certification in the construction and operational phase (by using the LIDER and CALENER programs) of two real cases.

*Keywords: Carbon dioxide, Embodied energy, Building*

## Resumen

Con el nuevo Código Técnico de la Edificación y la Certificación Energética se contempla ya el consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono durante la fase de explotación de un edificio. Sin duda es un paso hacia delante. Sin embargo, el coste económico y las emisiones debidas a la extracción de los materiales, la fabricación, el transporte y la puesta en obra (energía embebida en los materiales empleados en la construcción) pueden resultar importantes y más aún si se quiere mejorar la calificación energética del edificio con los correspondientes aumentos del aislamiento, mejora del cerramiento, etc.

Se utilizan dos casos de estudio (nueva construcción y remodelación) para analizar tanto el coste económico como el coste de emisiones de CO<sub>2</sub> que supone una mejora en la calificación energética tanto en la fase de construcción como en la fase de explotación (mediante el uso del LIDER y el CALENER) de dos casos reales.

*Palabras clave: Dióxido de carbono, Energía incorporada, Edificación*

## 1. Introducción

El sector de la construcción y, en particular, el de la edificación es responsable de más del 40 % del consumo energético en Europa [1], [2] y se estima que la implantación del Código Técnico de la Edificación supondrá un ahorro energético de un 30-40 % y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de un 40-55 % [3] en la fase de explotación de los edificios. Sin embargo, queda fuera de la directiva EPBD (Energy Performance Building Directive) el indicador de la Energía Embebida (EE) de los materiales de construcción.

Como otros autores han observado [1] y [4] las estrategias a nivel comunitario y nacional se están centrando pues en aumentar la eficiencia energética de los edificios, disminuyendo notablemente las necesidades energéticas durante la fase de uso sin que eso suponga

necesariamente una reducción del consumo energético en el resto de etapas del ciclo de vida del edificio (construcción, mantenimiento o deconstrucción). Este hecho resulta lógico teniendo en cuenta que el gasto energético de los edificios en la fase de utilización se considera aproximadamente de un 80 % [5]. Sin embargo, puesto que las estrategias políticas tratan de reducir en un gran porcentaje la energía consumida en la fase de uso, en la fase de construcción la energía embebida (EE) va adquiriendo una importancia relativa cada vez mayor [5], [6], y [7], llegando incluso a suponer entre el 10 y el 60 % del total de la energía usada en toda la vida del edificio [1] y [8].

Tras el Real Decreto 47/2007, de 19 de Enero, de obligado cumplimiento desde noviembre de 2007, que fija las bases para clasificar y certificar la eficiencia energética de edificios de nueva construcción, así como lo establecido por la directiva 2002/91/CE de la necesidad de la certificación energética de edificios existentes que conllevará para cada edificio una serie de medidas para mejorar la eficiencia energética (RD previsto para antes de 2009), hace que surja la duda de si la mejora de los aislamientos térmicos, los acristalamientos y la introducción de nuevas tecnologías con objeto de minimizar el consumo energético en la fase de explotación no aumentará excesivamente la energía consumida en la fase de construcción (EE).

Está claro que la reducción del consumo energético de los edificios durante su uso es muy importante, pero debería hacerse sin perder de vista el ciclo de vida del edificio (LCEA, Life Cycle Energy Assessment), y por tanto aumentar el ahorro y la eficiencia energética durante la explotación pero guardando de no incrementar excesivamente la Energía Embebida de los materiales en la fase de construcción como resultado del incremento de materiales de aislamiento, acristalamiento o con la introducción de sistemas tecnológicos más sofisticados.

## 2. Objetivo y alcance

Tras la breve introducción expuesta, surge la inquietud de estudiar el modo en que reaccionarán los edificios cuando se sometan a la calificación energética, y estudiar el modo en que se aumenta el ahorro energético en la etapa de uso a la vez que se analiza el aumento de la energía embebida en la fase de construcción. El RD 47/2007 califica con un distintivo en una escala de siete letras: desde la clase A (el más eficiente) hasta la clase G (menos eficiente) mediante un programa de cálculo (CALENER) que proporciona ratios teóricos de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio durante la fase de explotación. De los edificios construidos con anterioridad a 2006 se presume que un 40 % se encuentre en la calificación D, mientras que para los edificios construidos a partir de 2007, se estima que un 35 % serán C y un 55 % serán D [9].

Siguiendo esta idea, se han escogido dos proyectos reales de dos edificios como casos de estudio. El primero como edificio de nueva construcción y el segundo, anticipándonos al futuro Real Decreto, un edificio de rehabilitación.

En ambos casos, los edificios estaban planteados para ser calificados como D (a pesar de que todavía no era obligatoria la calificación) y por disposición del promotor se trató de subir su calificación energética hasta llegar a C. Para ello, se ha hecho un análisis de emisiones tanto en la fase de construcción como en la de explotación (según el programa CALENER del ministerio de industria) comparando el proyecto originalmente concebido y el proyecto finalmente realizado para conseguir la certificación requerida por el promotor. Así mismo, se ha hecho un análisis muy somero del coste económico que ha supuesto la mejora del proyecto y el ahorro económico que supone para los futuros usuarios el hecho de que el edificio sea más eficiente energéticamente.

Como observación cabe destacar que no se han cuantificado las emisiones totales en la fase de construcción, únicamente se han cuantificado las emisiones de aquellos materiales que se han cambiado o modificado durante la gestión del proyecto.

### 3. Caso de estudio 1: Edificio nueva construcción

#### 3.1 Planteamiento

Se trata de una promoción de viviendas aisladas en la provincia de Valencia que constan de dos plantas (planta baja más una) además de un sótano. Como datos característicos cabe destacar los siguientes:

- Superficie útil sótano: 29,88 m<sup>2</sup>
- Superficie útil planta baja: 58,65 m<sup>2</sup>
- Superficie útil planta primera: 57,14 m<sup>2</sup>
- 3 dormitorios, 2 baños, cocina, salón y aseo

Con los materiales habituales en esta zona de España (cerramiento de fábrica de ladrillo, estructura de hormigón armado y aislamiento de lana de vidrio), el combustible empleado para calefacción y ACS es gas natural mediante calderas mixtas individuales por vivienda.

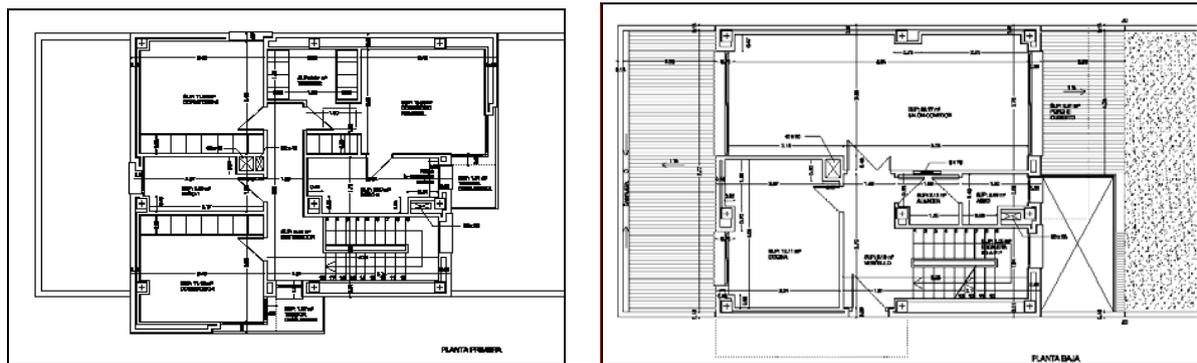


Figura 1 y 2. Planta primera (izquierda) y planta baja (derecha)



<b>Proyecto mejorado</b>			
<b>Cerramiento contra el terreno</b>	Lana mineral	e (cm) = 5	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Cerramiento C1</b>	Lana mineral	e (cm) = 7	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Cerramiento C3</b>	Lana mineral	e (cm) = 5	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Azotea</b>	EPS	e (cm) = 10	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Solera</b>	EPS	e (cm) = 6,1	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
<b>Terraza</b>	EPS	e (cm) = 5	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Forjado Aislado</b>	EPS	e (cm) = 1	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
<b>Forjado Aislado</b>	EPS	e (cm) = 7	$\lambda = 0,029 \text{ W/mK}$
<b>Vidrios</b>	Vidrio 4-12-4	$U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	$F_s = 0,64$
<b>Vidrios</b>	Vidrio 3-3-12-3-3	$U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$F_s = 0,62$

Tabla 2. Proyecto mejorado edificio nueva construcción

### 3.2 Análisis

Como consecuencia de las mejoras introducidas en los aislamientos y acristalamientos, se ha evaluado el coste de las mismas así como el ahorro económico conseguido durante la explotación.

<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Precio unitario [10]</u>	<u>Coste total</u>
Cerramiento contra el terreno	Lana mineral	$S = 10,74 \text{ m}^2$	$3,63 \text{ € / m}^2$	38,98 €
Cerramiento C1	Lana mineral	$S = 226,3 \text{ m}^2$	$4,49 \text{ € / m}^2$	1016,08 €
Cerramiento C3	Lana mineral	$S = 45,9 \text{ m}^2$	$3,63 \text{ € / m}^2$	166,62 €
Azotea	EPS	$S = 67,67 \text{ m}^2$	$5,15 \text{ € / m}^2$	348,50 €
Solera	EPS	$S = 31,16 \text{ m}^2$	$\text{€ / m}^2$	€
Terraza	EPS	$S = 9,17 \text{ m}^2$	$9,35 \text{ € / m}^2$	85,73 €
Forjado Aislado	EPS	$S = 5,6 \text{ m}^2$	$\text{€ / m}^2$	€
Vidrios	Vidrio 4-12-4	$S = 5,24 \text{ m}^2$	$40,13 \text{ € / m}^2$	210,28 €
Vidrios	Vidrio 3-3-12-3-3	$S = 30,11 \text{ m}^2$	$91,56 \text{ € / m}^2$	2756,87 €
<b>TOTAL</b>				<b>4623 €</b>

Tabla 3. Coste de los elementos eliminados del Proyecto original

<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Precio unitario [10]</u>	<u>Coste total</u>
Cerramiento contra el terreno	EPS	S = 10,74 m <sup>2</sup>	5,15 € / m <sup>2</sup>	55,31 €
Cerramiento C1	EPS	S = 226,3 m <sup>2</sup>	7,11 € / m <sup>2</sup>	1608,99 €
Cerramiento C3	EPS	S = 45,9 m <sup>2</sup>	5,15 € / m <sup>2</sup>	236,38 €
Azotea	EPS	S = 67,67 m <sup>2</sup>	9,35 € / m <sup>2</sup>	632,71 €
Solera	EPS	S = 31,16 m <sup>2</sup>	5,9 € / m <sup>2</sup>	183,84 €
Terraza	EPS	S = 9,17 m <sup>2</sup>	5,15 € / m <sup>2</sup>	47,22 €
Forjado Aislado	EPS	S = 5,6 m <sup>2</sup>	7,11 € / m <sup>2</sup>	39,82 €
Vidrios	Vidrio 4-12-4	S = 5,24 m <sup>2</sup>	44,87 € / m <sup>2</sup>	235,12 €
Vidrios	Vidrio 3-3-12-3-3	S = 30,11 m <sup>2</sup>	105,3 € / m <sup>2</sup>	3170,58 €
<b>TOTAL</b>				<b>6210 €</b>

Tabla 4. Coste de los elementos nuevos introducidos al Proyecto mejorado

Con lo que se establece que el coste económico de aplicar las mejoras térmicas a la vivienda de estudio supone la diferencia entre el coste de los elementos introducidos en el proyecto mejorado (6.210 €) y el coste de las unidades existentes en el proyecto anterior (4.623 €), que supone un incremento de 1.587 €.

Por otra parte el ahorro económico en la fase de explotación se ha medido teniendo en cuenta el consumo por kWh/año resultado de aplicar el CALENER a cada proyecto (original y modificado) resultando:

	Proyecto original		Proyecto mejorado	
	Kwh/año	€/año	Kwh/año	€/año
Calefacción	3889,389	162,031946	2196,597	91,510231
Refrigeración	3729,152	335,131432	3811,314	342,515167
Total	7618,541	497,163378	6007,911	434,025398

Tabla 5. Coste en explotación por consumo energía (según CALENER)

Resultando un ahorro económico en explotación para el futuro propietario de un 12 % respecto del proyecto inicialmente concebido.

De igual modo, las emisiones de dióxido de carbono incorporadas a los materiales de construcción se han calculado (tabla 6 y 7) así como las emisiones en la fase de explotación a partir de los datos obtenidos por el programa CALENER (tabla 8).

<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Emisión</u> kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> [10]	<u>Emisiones</u> totales (kg)
Cerramiento contra el terreno	Lana mineral	S = 10,74 m <sup>2</sup>	1,23	13,21 kg
Cerramiento C1	Lana mineral	S = 226,3 m <sup>2</sup>	1,73	391,50 kg
Cerramiento C3	Lana mineral	S = 45,9 m <sup>2</sup>	1,23	56,46 kg
Azotea	EPS	S = 67,67 m <sup>2</sup>	9,07	613,77 kg
Solera	EPS	S = 31,16 m <sup>2</sup>		kg
Terraza	EPS	S = 9,17 m <sup>2</sup>	18,13	166,25 kg
Forjado Aislado	EPS	S = 5,6 m <sup>2</sup>		kg
Vidrios	Vidrio 4-12-4	S = 5,24 m <sup>2</sup>	21,8	114,23 kg
Vidrios	Vidrio 3-3-12-3-3	S = 30,11 m <sup>2</sup>	33,62	1012,30 kg
<b>TOTAL</b>				<b>2367,71 kg</b>

Tabla 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> incorporadas a los materiales del Proyecto original

<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Emisión</u> kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> [10]	<u>Emisiones</u> totales (kg)
Cerramiento contra el terreno	EPS	S = 10,74 m <sup>2</sup>	9,07	97,41 kg
Cerramiento C1	EPS	S = 226,3 m <sup>2</sup>	12,69	2871,75 kg
Cerramiento C3	EPS	S = 45,9 m <sup>2</sup>	9,07	416,31 kg
Azotea	EPS	S = 67,67 m <sup>2</sup>	18,13	1226,86 kg
Solera	EPS	S = 31,16 m <sup>2</sup>	10,88	339,02 kg
Terraza	EPS	S = 9,17 m <sup>2</sup>	9,07	83,17 kg
Forjado Aislado	EPS	S = 5,6 m <sup>2</sup>	12,69	71,06 kg
Vidrios	Vidrio 4-12-4	S = 5,24 m <sup>2</sup>	24,72	5812,14 kg
Vidrios	Vidrio 3-3-12-3-3	S = 30,11 m <sup>2</sup>	34,28	1032,17 kg
<b>TOTAL</b>				<b>11949,89 kg</b>

Tabla 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> incorporadas a los materiales del Proyecto mejorado

El aumento de emisiones de dióxido de carbono en la fase de construcción debido a las mejoras es de 9.582,17 kg CO<sub>2</sub> (11.949,89 kg – 2.367,71 kg). Por otro lado en la explotación:

	Proyecto original		Proyecto mejorado	
	Kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	Kg CO <sub>2</sub> / año	Kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	Kg CO <sub>2</sub> / año
Calefacción	6,9	1003,743	4,1	596,427
Refrigeración	7,4	1076,478	8	1163,76
ACS	1,7	247,299	0,4	58,188
Total	16	2327,52	12,5	1818,375

Tabla 8. Emisiones de CO<sub>2</sub> en explotación (según CALENER)

Que supone una reducción del 22 % anual de las emisiones en explotación.

## 4. Caso de estudio 2: Edificio rehabilitación

### 4.1 Planteamiento

Se trata de una rehabilitación de un edificio de 4 viviendas en Madrid. Dos de ellas en planta primera y dos en planta segunda. En la planta baja se sitúa una zona destinada a garaje. La rehabilitación consiste en aumentar el número de viviendas a siete, tres en planta primera, tres en segunda y una nueva sobre el ático (sobre el edificio existente) manteniendo la planta baja como garaje y modificando la composición de las fachadas para mejorar la calificación energética.

La superficie de cada planta original es de 111,62 m<sup>2</sup> (planta baja, primera y segunda) y siendo la planta ático que se añade de 54,5 m<sup>2</sup>.

Originalmente las viviendas tenían calefacción eléctrica siendo sustituida por una de radiadores de agua caliente producida por una caldera mixta a gas natural.

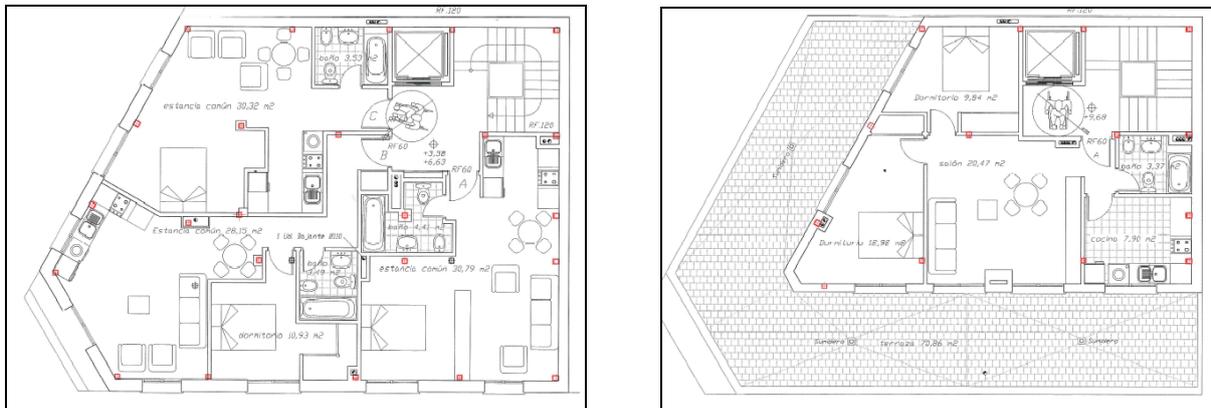


Figura 4 y 5. Planta primera y segunda (izquierda) y planta ático (derecha)

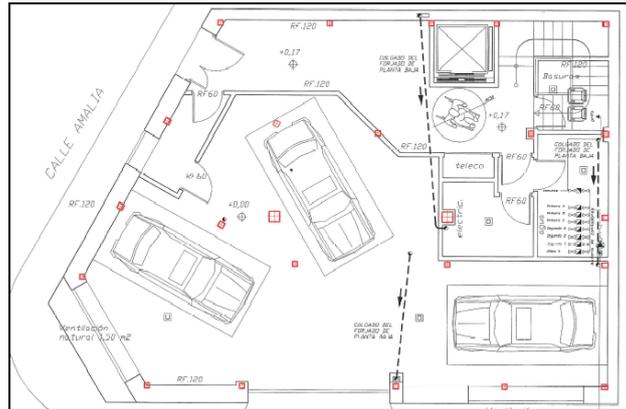


Figura 6. Planta baja

Los cambios realizados en el proyecto original para su rehabilitación y mejora del aislamiento térmico son los mostrados en la siguiente tabla (tabla 9).

	Proyecto original		Proyecto rehabilitación	
Fachada PB	1 pie de ladrillo macizo	e = 26,5 cm	1 pie de ladrillo macizo + enfoscado 1,5 cm	e = 28 cm
Fachada PA	1 pie de ladrillo HD	e = 24 cm	1 pida de ladrillo HD + 3 cm poliuretano + PYL 1,2 cm	e = 28,2 cm
Cubierta	Forjado 16 cm + terraza catalana	e = 16 cm	Forjado 16 cm + terraza catalana + lámina asfáltica + EPS	e = 20 cm
Carpintería	Metálica + vidrio	e = 0,4 cm Fs = 0,85 U = 5,6 w/m <sup>2</sup> K	Carpintería de AL lacado 2 hojas. Vidrio 4-6-4	e = 1,4 cm Fs = 0,75 U = 3,3 w/m <sup>2</sup> K

Tabla 9. Proyecto original y proyecto de rehabilitación

#### 4.2 Análisis

Tras la modificación del proyecto para la rehabilitación del edificio, se analiza el coste de aquellos elementos modificados así como el ahorro que supondrá durante la fase de utilización. En la tabla siguiente se indica el coste de las mejoras previstas que afectan al aislamiento.

Proyecto Rehabilitación				
<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Precio unitario [10]</u>	<u>Coste total</u>
Fachada PB	Enfoscado 1,5 cm	137 m <sup>2</sup>	17,46 € / m <sup>2</sup>	2.392,02 €
Fachada P1,	Poliuretano 3 cm	307 m <sup>2</sup>	7,23 € / m <sup>2</sup>	2.219,61 €

P2 y ático	PYL 1,2 cm	307 m <sup>2</sup>	25,4 € / m <sup>2</sup>	7.797,8 €
Cubierta	Lámina asfáltica	151 m <sup>2</sup>	19,97 € / m <sup>2</sup>	3.015,47 €
	EPS 4 cm	151 m <sup>2</sup>	6,81 € / m <sup>2</sup>	1.028,31 €
Carpintería	Carpintería de AL 1,15 x 2,25	8 uds.	340,8 € / ud	2.726,4 €
	Carpintería de AL 1,50 x 2,25	11 uds. <sup>2</sup>	408,47 € / ud	4.493,17 €
	Carpintería de AL 1,50 x 1,25	3 uds.	228,34 € / ud	685,02 €
	Vidrio 4-6-4	67 m <sup>2</sup>	38,25 € / m <sup>2</sup>	2.562,75 €
<b>TOTAL</b>				<b>26920 €</b>

Tabla 10. Coste de los elementos nuevos introducidos al Proyecto mejorado

El coste total de las mejoras introducidas en el aislamiento térmico del edificio rehabilitado es de 26.920 €. Por otro lado el ahorro económico en la fase de utilización por consumo energético calculado mediante el CALENER es el siguiente:

	Proyecto existente		Proyecto rehabilitado	
	kWh/año	€/año	kWh/año	€/año
Total	33648,57	1396,41	30273,24	1256,33

Tabla 11. Coste en explotación por consumo energético (según CALENER)

Que a la vista de los resultados pudiera parecer que la mejora es muy pequeña, pero atendiendo a los indicadores de consumo de kWh/m<sup>2</sup> de vivienda, el proyecto original consumía 123,3 kWh/m<sup>2</sup> año y tras la rehabilitación queda con 88,3 kWh/m<sup>2</sup> (puesto que se ha hecho una planta más), y económicamente el proyecto original tenía un coste por consumo energético en explotación de 5,11 €/m<sup>2</sup> mientras que la rehabilitación baja esa cantidad a 3,66 €/m<sup>2</sup>.

Igual que se hizo en el caso de estudio primero, se pasa a analizar ahora las emisiones de dióxido de carbono incorporadas a los materiales de construcción previsto para la mejora de los aislamientos durante la fase de construcción.

<u>Cerramiento</u>	<u>Material</u>	<u>Superficie</u>	<u>Emisión kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup></u> <u>[10]</u>	<u>Emisiones totales</u> <u>(kg)</u>
Fachada PB	Enfoscado 1,5 cm	137 m <sup>2</sup>	6,59 kg/m <sup>2</sup>	902,83 kg
Fachada P1, P2 y ático	Poliuretano 3 cm	307 m <sup>2</sup>	13,02 kg/m <sup>2</sup>	3997,14 kg
	PYL 1,2 cm	307 m <sup>2</sup>	16,97 kg/m <sup>2</sup>	5209,79kg

Cubierta	Lámina asfáltica	151 m <sup>2</sup>	44,38 kg/m <sup>2</sup>	6701,38 kg
	EPS 4 cm	151 m <sup>2</sup>	8,54 kg/m <sup>2</sup>	1289,54 kg
Carpintería	Carpintería de AL 1,15 x 2,25	8 uds.	1383,44 kg/ud	11067,52 kg
	Carpintería de AL 1,50 x 2,25	11 uds. <sup>2</sup>	1729,30 kg/ud	19022,3 kg
	Carpintería de AL 1,50 x 1,25	3 uds.	864,65 kg/ud	2593,95 kg
	Vidrio 4-6-4	67 m <sup>2</sup>	21,80 kg/m <sup>2</sup>	1460,6 kg
<b>TOTAL</b>				<b>52245,05 kg</b>

Tabla 12. Emisiones de CO<sub>2</sub> incorporadas a los materiales de aislamiento del proyecto de rehabilitación

El total de las emisiones que se generan en la fase de construcción debido a los materiales mencionados serán de 52.245,05 kg CO<sub>2</sub>.

En la fase de explotación los valores obtenidos (mediante el uso del CALENER) son los siguientes:

	Proyecto original		Proyecto mejorado	
	Kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub>	Kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub>
Total	45,3	12362,37	24,0	8228,16

Tabla 13. Emisiones de CO<sub>2</sub> en explotación (según CALENER)

Comprobándose que el ahorro de emisiones de dióxido de carbono debido a la rehabilitación es de 4.134,21 kg CO<sub>2</sub> al año, que supone una reducción del 34 % anual con respecto al proyecto original.

## 5. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en los dos casos de estudio y con lo expuesto en la introducción podemos concluir lo siguiente:

- El coste económico de las inversiones para mejorar la calificación energética de un edificio puede suponer un ahorro importante en el ciclo de vida del edificio (Life Cycle Cost) aunque el periodo de amortización es largo (20-25 años en el caso analizado de nueva construcción).
- El incremento de emisiones de dióxido de carbono en la fase de construcción debidas al aumento del aislamiento y mejora de los acristalamientos de los dos edificios estudiados supone valores altos pero amortizables en la fase de utilización en un período entre 11 años (caso 2) y 19 años (caso 1).

- Parece claro que, como se comentó al comienzo del artículo, la introducción en la normativa europea de una limitación de la demanda energética junto a la certificación de los edificios en la fase de explotación es un primer paso y no cabe duda de que es la etapa de mayor consumo energético. Sin embargo, por los valores obtenidos en este estudio así como por los valores resultantes en la documentación consultada queda claro que al comenzar a reducir los valores de consumo energético durante la fase de explotación comienza a ganar más importancia la fase de construcción.
- Con el fin de minimizar todavía más el consumo energético global así como las emisiones de dióxido de carbono, creemos que es necesaria la introducción en la toma de decisiones de herramientas que presten atención al ciclo de vida del edificio, con especial importancia en la energía embebida de los materiales. Así, en el caso de estudio 1, se podría lograr la misma certificación energética reduciendo mucho más las emisiones en la fase de construcción. Por ejemplo, se utilizó para mejorar el aislamiento el Poliestireno expandido (EPS) que presenta un factor de emisión hasta 10 veces superior al de la lana de vidrio.
- Por último, recalcar que una mejora en la calificación energética del edificio (como la que ha sido objeto de este estudio), supone un aumento en las emisiones de dióxido de carbono en la fase de construcción debido al incremento de materiales de construcción de aislamiento y acristalamiento, lo que supone no sólo prestar atención a mejorar la calificación energética sino a escoger correctamente los materiales que se emplean.

## Referencias

- [1] Zöld A. and Szalay Zs. "What is missing from the concept of the new European Building Directive?", *Building and Environment*, Vol. 42, Issue 4, April 2007, pp. 1761-1769.
- [2] García Casals, X., "Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences", *Energy and Buildings*, Vol. 138, Issue 5, May 2006, pp. 381-392.
- [3] Oteiza I. y Tenorio J. A., "Jornada 7: Evaluación de la sostenibilidad en la edificación", *XVII Edición Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO). La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción*. Madrid, 7 de Junio de 2007.
- [4] Huberman N. and Pearlmutter D., "A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert", *Energy and Buildings*, Vol. 40, Issue 5, 2008, pp.837-848.
- [5] RAI A, *Towards a National Framework for Energy Efficiency – Issues and Challenges*, The Royal Australian Institute of Architects (RAIA), Australia, 2004.
- [6] Cole R. and Kernan P. C., "Life-cycle energy use in office buildings", *Building and Environment*, Vol. 31, Issue 4, 1996, pp. 307-317.
- [7] Mumma T., "Reducing the embodied energy of buildings", *Home Energy Magazine*, Vol. 12, Issue 1, 1995.
- [8] Thormark C., "A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential", *Building and Environment*, Vol. 36, 2002, pp. 429-435.
- [9] Martín Samper F y Ruiz Ruiz de Gopegui F., "Oportunidades para las ingenierías ante el RD 47/2007 de Eficiencia Energética", *V Congreso Nacional de Ingeniería Civil: Desarrollo y Sostenibilidad en el marco de la ingeniería*, Sevilla, Noviembre 2007.
- [10] ITeC, "Base de datos Banco BEDEC PR/PCT", Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 2008. [www.itec.es](http://www.itec.es)

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen la colaboración de la empresa CPV (Control, Prevención y Verificación) por la ayuda prestada en el estudio de los proyectos objeto de este artículo así como por su disponibilidad a la hora de elaborar este estudio.

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Gonzalo Fernández Sánchez  
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción.  
Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria  
C/ Profesor Aranguren S/N, 28040 Madrid (España)  
Phone: +34 91 336 5378  
Fax: + 34 91336 6803  
E-mail: [gonzalofe@caminos.upm.es](mailto:gonzalofe@caminos.upm.es)