

APROXIMACIÓN AL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE FACHADAS VENTILADAS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

M. J. Ruá, L. Vives, V. Civera, B. López-Mesa

Dep. de Ingeniería Mecánica y Construcción,
Universitat Jaume I, Castellón 12071, España
blopez@emc.uji.es

RESUMEN

La arquitectura actual está cada vez más interesada en nuevas soluciones para la fachada del edificio, como la fachada ventilada, principalmente por motivos estéticos y de eficiencia energética. La ventaja medioambiental de la fachada ventilada frente a la fachada convencional de doble hoja cerámica con aislamiento interior no se ha estudiado suficientemente. En este estudio, proponemos el método para la realización de este análisis mediante el uso de los programas Lider 1.0 y Calener VYP 1.0 para la simulación energética de las fachadas, y la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para el cálculo del impacto ambiental. Dado que los algoritmos para fachadas ventiladas no están incluidos en Lider 1.0 y Calener VYP 1.0, utilizamos para la introducción de la fachada ventilada el método propuesto en la norma UNE-EN ISO 6946. Por ello, nuestra propuesta para el cálculo de la eficiencia energética y el impacto ambiental de fachadas es una aproximación, que podrá mejorarse cuando existan herramientas de cálculo más precisas para la simulación energética de fachadas ventiladas en España.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura actual está cada vez más interesada en nuevas soluciones para la fachada del edificio, como la fachada ventilada, principalmente por motivos estéticos y de eficiencia energética. Una fachada ventilada en España se suele componer de tres elementos principales: una hoja de ladrillo perforado que constituye el muro base, un aislamiento por el exterior de este muro base, y un revestimiento exterior, a menudo cerámico, transventilado y anclado al muro base por medio de una subestructura de aluminio. Su comportamiento energético es mejor que el de las fachadas de doble hoja cerámica con aislamiento interior, ampliamente usadas en el sur de Europa [1], por dos motivos principales:

- En primer lugar, porque el aislamiento exterior reduce significativamente los problemas de puentes térmicos asociados a la doble hoja cerámica [1].
- En segundo lugar, por los efectos de la cámara ventilada. La corriente de aire que circula en el interior de la fachada aísla al edificio de las condiciones térmicas externas, reduciendo la demanda energética del edificio [2].

El porcentaje de ahorro energético asignado a la fachada energética en España es del 25-40% [2]. Sin embargo, la literatura no especifica en comparación con qué se consigue este ahorro. Se puede sobreentender que es en relación a las soluciones de fachada convencionales, pero no se especifica cuándo tiende hacia un extremo (25%) o hacia el otro (40%). Además, estos datos de ahorro energético son anteriores a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) [3], lo que nos lleva a pensar que el rango de valores entre los que se mueve ese ahorro energético puede haber variado, dado que las prácticas constructivas en España también están cambiando para adaptarse a los nuevos requerimientos. Por estos motivos, pensamos que el ahorro energético debido al uso de fachadas ventiladas en comparación con fachadas de doble hoja cerámica con aislamiento interior no se conoce en la actualidad.

En el presente estudio, nuestro objetivo no es solamente abordar el ahorro energético de fachadas ventiladas en comparación con la doble hoja cerámica, sino también el análisis de sus ciclos de vida, porque los materiales de construcción utilizados en los sistemas constructivos también tienen impactos asociados [4]. Por ejemplo, en el caso de la fachada ventilada, los perfiles de aluminio tienen un impacto medioambiental alto, que merece la pena comparar con los impactos asociados al consumo energético. La comunidad científica ha aceptado que el único método a través del cual se puede hacer una comparación medioambiental justa es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV, en inglés LCA), según el cual es necesario considerar todas las fases de la vida del edificio. Según el Athena Institute las fases a tener en consideración son [5]:

- Extracción de materias primas. Esta fase incluye la recogida, explotación de minas o explotación de canteras, y actividades como la reforestación y el transporte de las materias primas.

- Fabricación. Esta fase incluye la energía y las emisiones asociadas a la fabricación de los productos de construcción utilizados, incluyendo su empaque, y posibles transportes asociados.
- Puesta en obra. Esta fase incluye el transporte de los productos de construcción de fábrica a distribuidores, y de estos a obra, así como la energía y recursos consumidos durante la ejecución de las fachadas.
- Ocupación/mantenimiento, también llamada 'fase de uso' o 'fase operacional'. Esta fase tiene en consideración funciones como las de calefacción, refrigeración, iluminación artificial, uso del agua, así como la de utilización de nuevos productos de mantenimiento como pinturas, barnices, solados y otros tipos de acabados.
- Demolición. Esta fase marca el final de la vida del edificio. Incluye la energía y recursos consumidos durante su demolición, y los transportes asociados.
- Reciclado/reutilización/retirada. Esta fase incluye el tratamiento que reciben los materiales de construcción después de la demolición, como reciclado, reutilización, retirada a vertedero o incineración, así como el procesado y transportes asociados.

En los edificios, la fase con el impacto medioambiental más alto es la de ocupación/mantenimiento por su larga vida útil [6]. Por este motivo, cuando se evalúa el impacto medioambiental de soluciones para la envolvente del edificio, como hacemos aquí, cabe esperar que la fase uso tienda a dominar el perfil global del ciclo de vida. Sin embargo, en la literatura se pueden encontrar algunos estudios de sistemas constructivos que no consideran la fase uso, por ejemplo [7]. En el presente estudio proponemos un método para el análisis de ciclo de vida, incorporando la fase uso. El método consiste en calcular en primer lugar los consumos energéticos de climatización, y posteriormente incorporar estos datos en el ACV comparativo.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación ha consistido en:

- 1) Proponer un método de cálculo, mediante el uso de programas de simulación energética y de impacto ambiental.
- 2) Aplicarlo a un caso concreto (una vivienda unifamiliar aislada).
- 3) Estudiar las aportaciones y limitaciones del método propuesto.

3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA COMPARACIÓN DE AHORRO ENERGÉTICO E IMPACTO AMBIENTAL DE FACHADA VENTILADA Y FACHADA DE DOBLE HOJA CERÁMICA CON AISLAMIENTO INTERIOR

La metodología de análisis consiste en llevar a cabo un ACV comparativo de los dos tipos de fachada teniendo en cuenta la fase uso.

Los métodos de ACV se adecuan a los principios recogidos en las normas ISO14040. Estas describen cuatro pasos generales que hay que realizar en cualquier ACV, y que a continuación detallamos cómo realizar:

a) Definición de **objetivos y alcance**. Este paso implica la definición de los motivos por los que se realiza el estudio. Una parte importante del mismo es también la definición de la unidad funcional, entendida como la cantidad de las diferentes soluciones capaces de proporcionar la misma función al edificio. La definición de una unidad funcional nos permite comparar soluciones de forma justa.

El objetivo de la comparación entre fachada ventilada y fachada de doble hoja cerámica con aislamiento interior es saber cuál de las dos soluciones es mejor desde un punto de vista medioambiental, en qué medida, y en qué casos. Por tanto, el análisis debe hacerse para diferentes tipologías edificatorias, con diferentes orientaciones, en diferentes zonas climáticas, etc., así como para fachadas ventiladas de diferentes características (espesor cámara, tipo de anclaje, etc.) y fachadas de doble hoja cerámica de distintas características.

En esta ponencia, sólo definimos la metodología e emplear, y la aplicamos a un solo caso (un solo tipo de edificio), con dos orientaciones distintas, y en cada una de las diferentes zonas climáticas españolas.

Como el CTE pone diferentes exigencias a la envolvente en las diferentes zonas climáticas, las soluciones de fachada simuladas en cada zona han de ser diferentes. En este estudio, las soluciones de fachada consideradas en cada zona climática se ajustan a los requerimientos del CTE, sin excederlos, excepto para ajustar la solución a productos de formato comercial.

La unidad funcional a considerar es 210 m² de las soluciones de fachada mencionadas. La vida útil a considerar del edificio es de 100 años para un grado de conservación medio [8].

b) **Análisis de inventario**. En esta fase se recopilan los procesos y actividades que implican la fabricación de un producto o la consecución de un resultado. En el caso de los sistemas constructivos implica todas las fases de la vida del edificio anteriormente mencionadas. Es importante señalar que cuando se trata de un elemento de la envolvente, como son las soluciones de fachada, la fase uso incluirá, en el método que aquí proponemos, el consumo energético durante la vida del edificio, achacable al elemento constructivo.

La energía de climatización que ahorramos en un edificio, no solamente depende de sus soluciones de fachada, sino también de otros parámetros como el resto de soluciones empleadas para los demás elementos de la envolvente, o la zona climática en la que se sitúa, el grado de enterramiento del edificio, su orientación, la cantidad de superficie de acristalamiento, las renovaciones/hora de sus espacios, los posibles puentes térmicos presentes en el edificio, las instalaciones de climatización, etc. Por este motivo, es difícil asignar unas cargas absolutas de impacto ambiental operacional a un tipo de fachada.

Para resolver este problema, es mejor establecer una comparación, de manera que analizando dos edificios idénticos, excepto por su tipo de fachada, podamos asignar una cantidad de ahorro energético de una solución de fachada (en este caso, la fachada ventilada) como carga medioambiental a otra solución (en este caso, la doble hoja cerámica con aislamiento interior). Es decir que las cargas ambientales operacionales debidas a los consumos energéticos de climatización de los edificios siempre habrá que calcularlas de forma relativa.

Para el cálculo del ahorro energético, se propone el uso de dos herramientas:

- El software gratuito Lider v1.0 [9], que ayuda a comprobar si un edificio cumple las nuevas exigencias energéticas en España [3, 9], como respuesta a la directiva 2002/91/EC que planteó la necesidad de elaborar metodologías para la evaluación energética de edificios [10]. Cabe mencionar algunos aspectos en relación a su uso:
 - Merece la pena considerar los puentes térmicos en [11], que son más precisos que los incluidos por defecto en el programa Lider v1.0.
 - Dado que los algoritmos para fachadas ventiladas no están incluidos en Lider v1.0, utilizamos para la introducción de la fachada ventilada el método propuesto en la norma UNE-EN ISO 6946 [12]. En esta norma se indica que la resistencia térmica total de un elemento de edificación que contiene una cámara de aire muy ventilada se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las demás cámaras entre la capa de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma. En el caso de la fachada ventilada, despreciamos la resistencia térmica del revestimiento cerámico y la cámara, e incluimos una resistencia superficial exterior de $0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, en lugar de $0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Para hacer esto en el programa Lider v1.0, es necesario crear un material ficticio con la resistencia térmica $0,09 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, que es la diferencia entre los valores anteriores de resistencia superficial.
- El software gratuito Calener VYP v1.0 [13], se utiliza para el cálculo del consumo energético de climatización. Esta versión del programa no sólo permite evaluar la eficiencia energética de edificios [10], sino también conocer sus consumos energéticos. Para su uso, se importan datos del programa Lider v1.0, y se introducen datos de los equipos de climatización.

Una vez realizada la simulación, se toman los datos de consumo de energía final de calefacción y refrigeración del edificio objeto porque estos son los datos referentes a la fase de uso a introducir en el programa de cálculo de impacto ambiental SimaPro 7.0.

c) **Evaluación del impacto.** Esta fase sigue varios pasos, que según la nomenclatura internacional son: clasificación, caracterización, y normalización. La clasificación implica asignar los datos de inventario a categorías de impacto, clasificados según su impacto potencial sobre el medio ambiente, la salud humana y los recursos. En la caracterización se calcula la contribución potencial de cada compuesto detectado en el análisis de inventario a un efecto ambiental. En la normalización los datos caracterizados se normalizan dividiéndolos por la magnitud real o esperada de cada una de las categorías de impacto para un área geográfica y un momento temporal determinados. Para poder comparar los impactos ambientales de dos soluciones diferentes, el ACV necesita una fase final de valoración, que permita ponderar las diferentes categorías de impacto entre sí, pero este paso no está estandarizado. Ha sido siempre un tema controvertido porque es difícil, por ejemplo, decidir si la acidificación es más o menos importante que el uso del terreno.

Por otro lado, sin el paso de valoración, perfiles medioambientales diferentes no son comparables. Como se discute en [14], comparar basándose en los puntos obtenidos para cada efecto medioambiental es como aplicar un factor de ponderación de 1 a cada uno de ellos, que es menos preferible que usar factores de ponderación razonados. Este es el motivo por el que sugerimos el uso del paso valoración para la comparación final.

Hay diferentes métodos para la valoración, cada uno con sus ventajas y desventajas [14]. Los métodos basados en el coste son, no obstante, los considerados más fiables [14]. Por otro lado, ISO especifica que no se deben obviar categorías de impacto importantes, como uso del terreno, partículas en suspensión y ruido. Como se discute en [15], el método más completo que incluye estas categorías, y que está basado en costes medioambientales es el método sueco EPS 2000 [16], por ello lo proponemos para realizar la valoración.

d) **Interpretación y conclusiones.** Esta es la última fase y combina la información obtenida en la fase de inventario con la de evaluación de impactos para llegar a conclusiones relativas a los objetivos y alcance del estudio.

4. CASO DE ESTUDIO

4.1. Objetivo y alcance.

El caso de estudio que aquí presentamos es una comparación entre fachada ventilada y fachada de doble hoja cerámica con aislamiento interior aplicada a una vivienda unifamiliar aislada. Lo hemos realizado para dos orientaciones diferentes

en cada una de las zonas climáticas identificadas en el CTE para saber si las fachadas ventiladas dan mayores beneficios en función de la dureza del clima o la orientación. De las dos orientaciones, la mejor, desde un punto de vista energético, es en la que el salón y cocina quedan orientados hacia el sur, y solamente tres ventanas – una en cada cuarto de baño, y una en el garaje– dan al norte. La peor orientación es en la que el garaje está orientado a sur (figura 1a), y seis ventanas o puertas acristaladas quedan orientadas a norte (figura 1b).

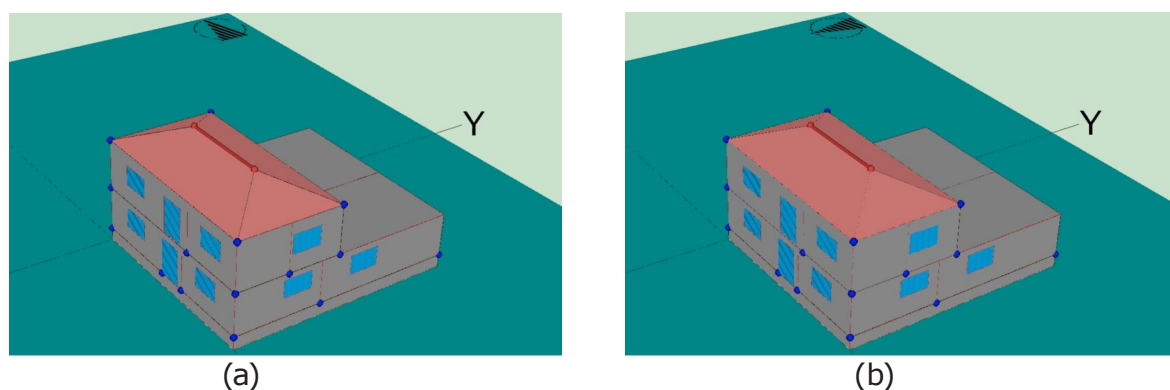


Figura 1. Orientaciones mejor (a) y peor (b) consideradas en el estudio.

Las características de la envolvente del edificio estudiado quedan recogidas en la tabla 1.

Las siguientes instalaciones de climatización se han considerado para el caso de estudio:

- Para la refrigeración, sistemas multi-split inverter.
- Para la calefacción, radiadores, con una caldera atmosférica mixta de gas natural de 28 kW de potencia.

4.2. Análisis de inventario.

4.2.1. Fase de minerales.

Esta fase incluye las cargas ambientales debidas a la extracción de material prima, la fabricación y la puesta en obra. La tabla 2 muestra los datos considerados.

Zona climática	Características de la envolvente del edificio		
Grupo 1: A3 Málaga A4 Almería B3 Castellón B4 Sevilla	Doble hoja cerámica: - 11,5 cm ladrillo caravista - 1,5 cm mortero - 2 cm cámara aire - 4 cm lana de roca ¹ - 7 cm LH cerámico - 1,5 cm enlucido	Fachada ventilada: - Revest. cerámico. - 2 cm cámara ventil. - 4 cm lana de roca ¹ - 11,5 cm LP - 1,5 cm enlucido	Ventanas: - Perfil metálico sin rotura de puente térmico para A3 y A4 y con rotura de puente térmico de 4 a 12 mm para B3 y B4 - Acristalamiento 4-6-4
	Cubierta inclinada: - 10 cm tejas - 3 mm impermeabiliz. - 3 cm mortero - Cámara ventilada - 4 cm lana de roca ¹ - Forjado unidireccional H.A. 25+5 - 1,5 cm enlucido	Cubierta plana: - 7 mm baldosas cerá. - 3 cm mortero - 4 cm lana de roca ¹ - 3 mm impermeabiliz. - 10 cm form. pend. - Forjado unid. H.A. 25+5 - 1,5 cm enlucido	Forjado sanitario: - 7 mm baldosas cerá. - 5 cm mortero autonivel. - 4 cm lana de roca ¹ - Forjado unidireccional H.A. 25+5 - Cámara ventilada
	Partición interior: - 1,5 cm enlucido - 7 cm LH cerámico		
Grupo 2: C1 Santander C2 Barcelona C3 Granada C4 Badajoz	Doble hoja cerámica: Ídem a grupo 1, pero: - con barrera de vapor ² - 5 cm lana de roca ¹	Fachada ventilada: Ídem a grupo 1, pero: - 5 cm lana de roca ¹	Ventanas: - Perfil metálico con rotura de Puente térmico mayor de 12 mm - Acristalamiento 4-6-4
	Cubierta inclinada: Ídem a grupo 1, pero: - 5 cm lana de roca ¹	Cubierta plana: Ídem a grupo 1, pero: - 5 cm lana de roca ¹	Forjado sanitario: Ídem a grupo 1, pero: - 5 cm lana de roca ¹
	Partición interior: Ídem a grupo 1		
Grupo 3: D1 Pamplona D2 Logroño D3 Madrid	Doble hoja cerámica: Ídem a grupo 2, pero: - 6 cm lana de roca ¹	Fachada ventilada: Ídem a grupo 2, pero: - 6 cm lana de roca ¹	Ventanas: - Perfil metálico con rotura de Puente térmico mayor de 12 mm - Acristalamiento 4-12-4
	Cubierta inclinada: Ídem a grupo 2, pero: - 6 cm lana de roca ¹ - cámara de aire ligeramente ventilada	Cubierta plana: Ídem a grupo 2, pero: - 6 cm lana de roca ¹	Forjado sanitario: Ídem a grupo 2
	Partición interior: Ídem a grupo 1		
	Doble hoja cerámica: Ídem a grupo 2, pero: - 8 cm lana de roca ¹	Fachada ventilada: Ídem a grupo 2, pero: - 8 cm lana de roca ¹	Ventanas: Ídem a grupo 3
	Cubierta inclinada: Ídem a grupo 2, pero: - 8 cm lana de roca ¹	Cubierta plana: Ídem a grupo 2, pero: - 8 cm lana de roca ¹	Forjado sanitario: Ídem a grupo 1, pero: - 6 cm lana de roca ¹
	Partición interior: Ídem a grupo 1		

Tabla 1. Características de la envolvente del edificio.

1. $\lambda = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$, espesor=0,005 m

4.2.2. Fase de uso.

Para la fase operacional, la diferencia de consumo energético entre la fachada de doble hoja cerámica y aislamiento interior y la fachada ventilada se incluyó en el inventario de la fachada de doble hoja cerámica porque la fachada ventilada siempre conllevó un consumo energético inferior. Los valores de ahorro energético al cabo de 100 años de vida útil del edificio se pueden observar en la tabla 3. Las fases de demolición y retirada no las hemos considerado por desconocer los métodos que existirán en 100 años, evitando así hacer hipótesis adicionales.

Fachada ventilada			Doble hoja cerámica		
Productos	Materiales y procesos en SimaPro 7.0	Cantidades	Productos	Materiales y procesos en SimaPro 7.0	Cantidades
Revestimiento exterior cerámico	Keramics I	46 kg/m ²	Ladrillo caravista	Solid facing brick	228 kg/m ²
	Transp. distrib.	300 km		Transp. distrib.	150 km
	Transp. a obra	10 km		Transp. a obra	10 km
Aluminio	Alum. 25% rec.	4,2 kg/m ²	Mortero de cemento	Cement	78,5 kg/m ²
	Section bar extr.	4,2 kg/m ²		Sand	570 kg/m ²
	Transp. distrib.	0 km		Water	80 l/m ²
	Transp. a obra	100 km		Transp. a obra	10 km
Mortero de cemento	Cement	31 kg/m ²	Aislamiento	Rock W., pack.	4 cm:1,6 kg/m ² 5 cm:2,0 kg/ m ² 6 cm: 2,4 kg/m ² 8 cm: 3,2 kg/m ²
	Sand	225 kg/m ²		Transp. distrib.	300 Km
	Water	32 l/m ²		Transp. a obra	10 Km
	Transp. a obra	10 km		Bit. refin. Eur.	5,5 kg/m ²
Aislamiento	Rock Wool, packed	4 cm:1,6 kg/m ² 5 cm:2,0 kg/ m ² 6 cm: 2,4 kg/m ² 8 cm: 3,2 kg/m ²	Barrera vapor	Transp. distrib.	300 km
	Transp. distrib.	300 Km		Transp. a obra	10 km
	Transp. a obra	10 Km		Brick at plant	47 kg/ m ²
Ladrillo perforado	Brick at plant	78 kg/m ²	LH	Transp. distrib.	150 km
	Transp. distrib.	150 Km.		Transp. a obra	10 km
	Transp. a obra	10 km.		Base plaster, pl.	22 kg/ m ²
Enlucido	Base plaster,pl.	22 kg/m ²	Enlucido	Water	11 kg/ m ²
	Water	11 kg/m ²		Transp. a obra	10 km
	Transp. a obra	10 km		Electr. LV Sp.	0.004 Kw/ m ²
Hormigonera	Electr. LV Sp.	0.004 Kw/m ²	Plat. elevad.	Electr. LV Sp.	0.015 Kw/ m ²
Taladradora	Electr. LV Sp.	0.0025 Kw/m ²	Consumo energético calefacción añadido	Gas natural for heat boiler atmospheric burner <100 kW	Columna B1 en tabla 3
Plataforma elevadora	Electr. LV Sp.	0.015 Kw/m ²	Consumo energético refrigeración añadido	Electricity LV use in Spain	Columna B2 en tabla 3

Tabla 2. Datos de inventario de las soluciones de fachada estudiadas.

4.3. Resultados.

4.3.1. Consumo de energía.

La tabla 3 muestra el consumo energético anual por m² de vivienda para los 48 casos estudiados. Las siguientes conclusiones se pueden extraer de su lectura:

- La calefacción produce mayores consumos energéticos que la refrigeración, incluso en las zonas climáticas con veranos severos e inviernos suaves (A4).
- La orientación inicialmente considerada como mejor es, de hecho, mejor que la considerada como peor desde el punto de vista de la calefacción. Sin embargo, desde el punto de vista de la refrigeración es al contrario. Considerando los consumos de calefacción y refrigeración conjuntamente, la orientación considerada mejor es, de hecho, la mejor porque la calefacción siempre produce mayores consumos energéticos que la refrigeración. Esto es así para el edificio simulado, que no tenía estrategias pasivas de verano.

4.3.2. Ahorro de energía.

De la tabla 3 también deducimos que:

- El uso de fachada ventilada produce un ahorro energético de climatización en comparación con la fachada de doble hoja cerámica con aislamiento interior, que oscila entre el 13,8% y el 17,6%. Este rango es inferior al 25-40% anteriormente aportado en la literatura, como cabía suponer, dado que tras la entrada en vigor del CTE, las soluciones de doble hoja cerámica que a este se adaptan tienen mejor comportamiento térmico que las anteriores al CTE, con las que se comparaba la fachada ventilada.
- Cuanto más severo es el clima (tanto de calefacción como refrigeración), más energía se ahorra con el uso de fachada ventilada.

Zonas	Ciudad	Orientación	A. Consumo de energía anual				B. Ahorro del consumo de energía con el uso de fachada ventilada pasados 100 años	
			A1. Pared de ladrillo de doble hoja		A2. Fachada ventilada			
			A11 kw·h/m² Calefacción	A12 kw·h/m² Refrigeración	A21 kw·h/m² Calefacción	A22 kw·h/m² Refrigeración	B1 kw·h Calefacción	B2 kw·h Refrigeración
A3	Málaga	Mejor	28,4	7,9	22,8	7,6	109.262	5.853
		Peor	30,5	7,1	25,4	7,0	99.506	1.951
A4	Almería	Mejor	22,2	8,9	18,0	8,7	81.946	3.902
		Peor	24,6	8,2	20,3	8,0	83.897	3.902
B3	Castellón	Mejor	42,3	6,3	35,5	6,2	132.675	1.951
		Peor	44,1	5,7	37,0	5,4	138.528	5.853
B4	Sevilla	Mejor	32,2	9,7	26,4	9,3	113.164	7.804
		Peor	34,3	10,3	27,9	9,8	124.870	9.756
C1	Santander	Mejor	62,2	0,0	51,6	0,0	206.817	0
		Peor	63,8	0,0	53,4	0,0	202.914	0
C2	Barcelona	Mejor	54,2	4,1	44,1	4,0	197.061	1.951
		Peor	57,1	3,2	46,6	3,1	204.866	1.951
C3	Granada	Mejor	66,4	6,8	54,8	6,5	226.328	5.853
		Peor	69,0	5,9	57,2	5,4	230.230	9.756
C4	Badajoz	Mejor	45,4	8,4	38,4	8,0	136.577	7.804
		Peor	46,5	7,6	39,5	7,2	136.577	7.804
D1	Pamplona	Mejor	98,8	0,9	82,9	0,9	310.225	0
		Peor	100,7	0,2	84,6	0,0	314.127	3.902
D2	Logroño	Mejor	83,1	2,8	69,4	2,7	267.301	1.951
		Peor	85,4	2,4	71,5	2,3	271.203	1.951
D3	Madrid	Mejor	75,3	5,5	61,8	5,3	263.399	3.902
		Peor	77,4	4,4	63,7	4,0	267.301	7.804
E1	Burgos	Mejor	118,6	0,0	99,0	0,0	382.416	0
		Peor	121,1	0,0	101,4	0,0	384.367	0

Tabla 3. Consumos energéticos anuales y ahorro de consumo con fachada ventilada.

4.3.3. Impacto ambiental.

La figura 2 muestra el impacto medioambiental de las soluciones de fachada estudiadas, considerando exclusivamente las cargas ambientales debidas a la extracción de material prima, la fabricación y la puesta en obra de los materiales de la fachada. Como se puede observar, los materiales que componen la fachada ventilada (dos columnas de la derecha) tienen un impacto ambiental superior a los de la fachada de doble hoja cerámica, debido al alto impacto de los perfiles de aluminio.

Sin embargo, cuando se considera la fase operacional, se observa la importante mejora medioambiental que supone la fachada ventilada. La figura 3, muestra el impacto medioambiental, incluyendo la fase de uso, de la fachada de doble hoja cerámica, en función de la zona climática y de la buena o mala orientación. Como puede observarse, el impacto ambiental de la doble hoja cerámica es aproximadamente entre 1,5 y 5 veces mayor que el de la fachada ventilada, dependiendo de la zona climática fundamentalmente.

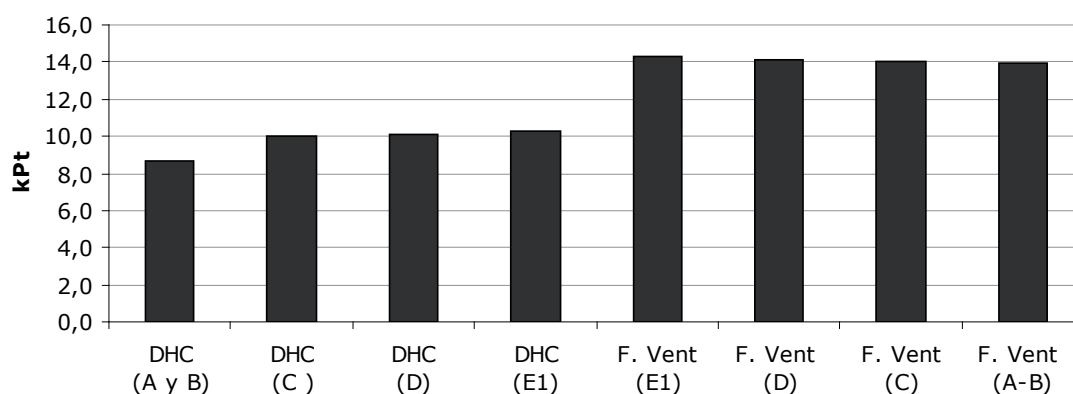


Figura 2. Impacto medioambiental en kilopuntos de los materiales de 1 m² de fachada (DHC: doble hoja cerámica; en paréntesis zona climática).

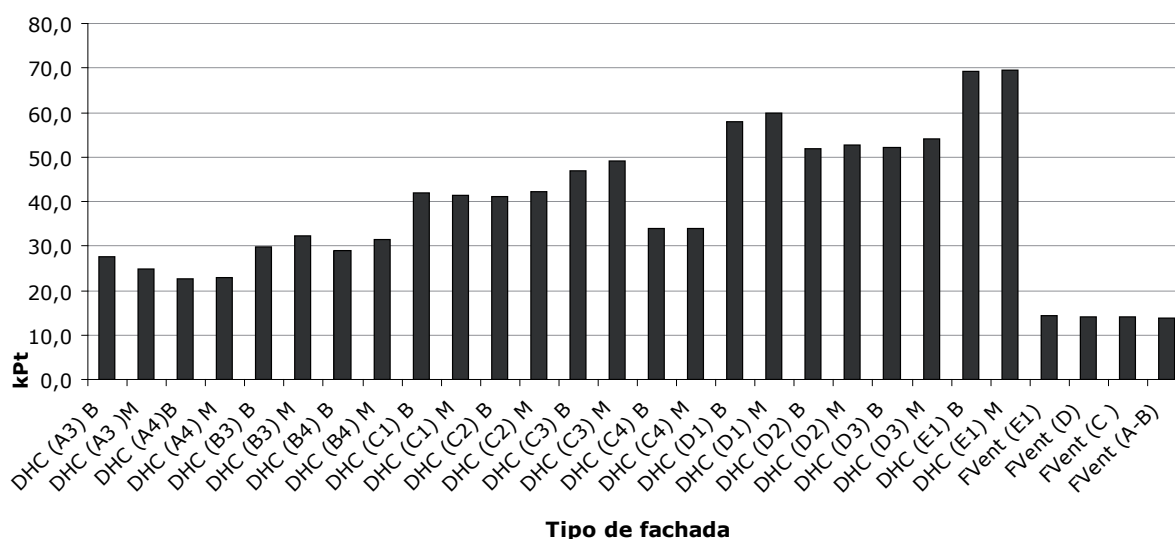


Figura 3. Impacto medioambiental en kilopuntos de 1 m² de cada tipo de fachada, incluida la fase de uso (DHC: doble hoja cerámica; FVent: fachada ventilada; Entre paréntesis zona climática; B: orientación buena; M: orientación considerada mala).

5. CONCLUSIONES

En esta ponencia, se ha presentado un método de análisis comparativo del impacto ambiental de dos soluciones de fachada, la fachada ventilada y la fachada de doble hoja cerámica con aislamiento interior. El método se ha aplicado al caso de una vivienda unifamiliar aislada. La mayor innovación del método propuesto es

la incorporación de la fase uso al inventario de las soluciones de fachada. La fase uso implica la consideración del ahorro energético de climatización debido al uso de la fachada ventilada frente a la doble hoja cerámica.

Este método nos ha permitido evaluar los dos tipos de fachada desde un punto de vista medioambiental. Los resultados muestran que si bien los materiales de la fachada ventilada presentan un mayor impacto ambiental que los de la fachada de doble hoja cerámica, debido al alto impacto de los perfiles de aluminio, el ahorro energético que se consigue a lo largo de la vida útil del edificio compensa con creces esta diferencia, haciendo a la fachada ventilada una solución mucho más ventajosa desde el punto de vista medioambiental.

Sería interesante ampliar este estudio a otros casos, como la vivienda plurifamiliar entre medianeras y la aislada, así como a edificios singulares como museos, edificios docentes, etc.

Sin embargo, también hemos de comentar algunas limitaciones del método propuesto, que deberían ser objeto de futura investigación. La primera limitación es el hecho de que los algoritmos de la fachada ventilada no estén incluidos en el programa de simulación energética Lider v1.0. Esto nos ha llevado a usar la aproximación propuesta en la norma UNE-EN ISO 6946 para la introducción de la fachada ventilada en el programa. Sin embargo, esta aproximación no considera los efectos de la cámara de aire en función de la zona climática, orientación de la fachada o características de la cámara y revestimiento cerámico. Consideramos que estos efectos podrían ser objeto de estudio, para una mayor precisión en los resultados obtenidos. Otra limitación es el hecho de que los programas de simulación energética utilizados consideran que la vivienda está siendo usada el 100% del tiempo, lo que no es real y favorece los resultados medioambientales de la fachada ventilada frente a los de la fachada de doble hoja cerámica. Entendemos que, de considerar regímenes de uso de la vivienda más próximos a la realidad, la fachada ventilada continuaría saliendo más ventajosa desde el punto de vista de su impacto medioambiental, pero la diferencia sería inferior a la obtenida en este estudio. La cuestión de los regímenes de uso debería también ser investigada en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Apreciamos la información y ayuda recibidas de David Giner de Wandegar 2001, Juan J. Palencia de la Generalitat Valenciana y la Universitat Jaume I, así como de Rodrigo Llopis, Marc Gascón y Guillem García de la Universitat Jaume I. Agradecemos el apoyo económico recibido por el Ministerio de Fomento, proyecto C54/2006.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T.G. Theodosiou, A.M. Papadopoulos, The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions, *Energy and Buildings* 40 (2008) 2083–2089.
- [2] Montero Fernández de Bobadilla, E. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad. Manual básico. Murcia: Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2007.
- [3] CTE- Código Técnico de la Edificación. Madrid: Ministerio de Vivienda; 2006.
- [4] Lucuik M, Seguin P, Reid A. Material and Operational Environmental Impacts of Building Insulation: How Much is Enough? IEEE EIC Climate Change Conference, May 09-12, 2006 Ottawa Canada.
- [5] Athena Institute, Canada. <http://www.athenasmi.ca/about/IcaModel.html>
- [6] N. Malin, Life cycle assessment for whole buildings: seeking the holy grail, in *Building Design and Construction*, November 2005, 6-11.
- [7] X. Roca, Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios avanzados. PhD dissertation. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2005.
- [8] Orden ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras.
- [9] Lider v1.0. Manual de usuario. Madrid: Ministerio de Vivienda e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007.
- [10] X García Casals, Analysis of building energy regulation and certification in Europe: their role, limitations and differences. *Energy and Buildings* 38 (2006) 381-392.
- [11] Sole, J. Aislamiento térmico en la edificación. Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética. Tarragona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona, 2007.
- [12] UNE-EN ISO 6946:1997/A1:2005 · Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method (ISO/DIS 6946:2005).
- [13] Calener VYP v1.0. Manual de usuario. Madrid: Ministerio de Vivienda e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007.
- [14] Dobbelsesteen AAJF van den, Arets M, Nunes R. Sustainable design of supporting structures - Optimal structural spans and component combinations for effective improvement of environmental performance. *Construction Innovation: Information, Process, Management* 7(1) (2007) 54–71.
- [15] López-Mesa B, Pitarch A, Tomás A, Gallego T. Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors, *Building and Environment*, 44 (4) (2009) 699-712.

- [16] Steen B. A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000 - General system characteristics. CPM report 1999:4, Chalmers University of Technology, Sweden, 1999.