

# DISEÑO DE UNA FACHADA TERMOELÉCTRICA ACTIVA

**Ibáñez Puy, María<sup>1</sup>; Sacristán Fernández, José Antonio<sup>1</sup>; Martín Gómez, César<sup>1</sup>;**

1: Departamento de Construcción, Instalaciones y Estructuras  
Escuela de Arquitectura, Universidad de Navarra  
e-mail: [mibanez.3@alumni.unav.es](mailto:mibanez.3@alumni.unav.es), web: <http://www.unav.edu/departamento/construccion/>

**PALABRAS CLAVE:** “Fachada ventilada activa”, “eficiencia”, “termoelectricidad”, “Peltier”.

## RESUMEN

La conciencia social sobre el uso eficiente de la energía ha aumentado considerablemente en estos últimos años. La envolvente y los sistemas de climatización son los principales responsables de la demanda y el consumo de energía en los edificios.

Teniendo estos puntos en cuenta, un grupo de investigación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra está desarrollando un proyecto llamado “Desarrollo, construcción y análisis de un cerramiento de fachada activo con células Peltier”. Dicho trabajo se centra en la obtención de una solución integral de cerramiento y climatización. Para ello se plantea un cerramiento de fachada ventilada opaco industrializado de altas prestaciones capaz de adaptarse de forma dinámica a los cambios ambientales que incluye un sistema de climatización por termoelectricidad en su interior.

El sistema de fachada innovador planteado incorpora el sistema de climatización mediante células Peltier que consiste en un sistema de bomba de calor termoeléctrica diseñado para ser incorporado en la fachada de los edificios. Además, se han introducido una serie de mecanismos que permiten el control del flujo de aire dentro de la cámara del cerramiento.

Con la intención de cuantificar y comprobar el comportamiento real de las ideas antes planteadas, en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra, se ha construido un prototipo del sistema de fachada innovador y se ha instalado en un módulo prefabricado de ensayo que simula una habitación tipo. De esta manera se están recogiendo datos reales de comportamiento, que permitirán realizar una valoración objetiva del nuevo sistema.

Este artículo se centra en analizar el nuevo sistema de fachada activa, a la vez que se describen el proceso de diseño del mismo y su construcción. Se hace hincapié en las singularidades del proceso constructivo en un proyecto de estas características y se valoran los primeros resultados obtenidos de la monitorización.

## 1. INTRODUCCIÓN

La conciencia social sobre el uso eficiente de la energía ha aumentado considerablemente en estos últimos años, tratándose no sólo de un problema ambiental sino también económico. El 40% del consumo de energía en la Unión Europea está destinado al sector de la construcción. De hecho, el sector de edificación en España en el año 2010 era responsable de 17% del consumo total de energía, del cual al sector residencial le correspondía el 10% [1]. Debido a esto, en los últimos años se han implantado una serie de normativas cuyo objetivo principal es mejorar la eficiencia energética en los edificios [2].

Envolvente y climatización son los principales responsables de la demanda y el consumo de energía en los edificios. Normalmente, el diseño de la envolvente se basa en soluciones estáticas que obliga a diseñar sobredimensionar las instalaciones para que se alcancen las condiciones de confort incluso en los momentos de demanda crítica.

Teniendo estos puntos en cuenta y siendo conscientes del mundo tecnológico, industrializado y en continuo cambio actual, la hipótesis de partida del presente trabajo es la obtención de una solución integral de cerramiento y climatización. Para ello se plantea un cerramiento de fachada ventilada opaco industrializado autosuficiente de altas prestaciones capaz de adaptarse de forma dinámica a los cambios ambientales que incluye un sistema de climatización por termoelectricidad en su interior. El sistema está concebido para poder ser instalado tanto en edificios de nueva construcción como en edificios existentes.

## 1.1 Fachada ventilada opaca

La envolvente de los edificios es la barrera que existe entre el ambiente interior y el exterior de los edificios y que, por tanto, debe cumplir con un gran número de funciones vitales que influyen en el consumo global del edificio. Las fachadas ventiladas se han convertido en una de las soluciones más demandadas y elegidas por los arquitectos y constructores, especialmente en edificios residenciales, no sólo como solución para edificios de nueva construcción sino que también se usa como solución para la rehabilitación de edificios existentes. Su amplio uso se debe a las mejoras energéticas y a las amplias posibilidades estéticas que ofrece en comparación con las soluciones convencionales.

Una fachada ventilada opaca se define como un sistema constructivo compuesto por un revestimiento opaco exterior y una hoja interior opaca que ejerce de elemento resistente y que aporta el aislamiento térmico y acústico necesario. Entre ambas capas queda una cámara de aire, drenada y que siempre está ventilada.

La principal diferencia en el análisis de la transmisión de calor entre un cerramiento convencional y un sistema ventilado de cualquier tipo se debe principalmente al comportamiento singular que tiene la cámara de aire ventilada, debido al efecto de la radiación solar y al viento [3]. Estos dos factores provocan el llamado efecto chimenea. Este resulta, tal y como se muestra en la “Figura 1”, de la diferencia de la temperatura del aire interior y el exterior. El aire caliente, más ligero que el aire frío, asciende, creando una presión negativa en la base y ejerciendo una presión positiva hacia afuera en lo alto de la cámara.

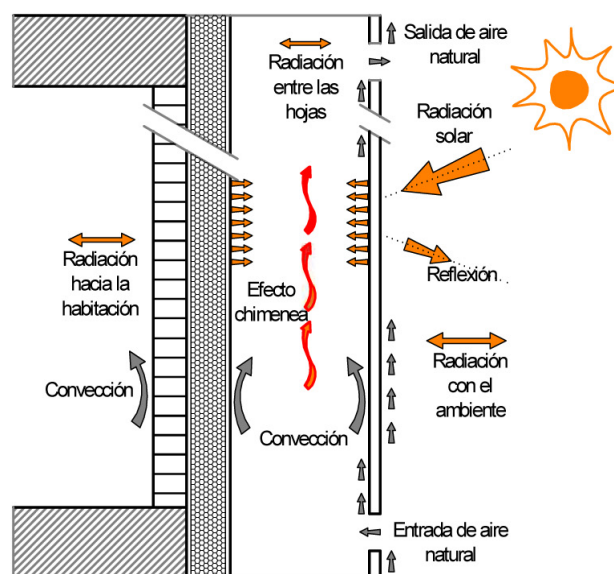


Figura 1: Esquema del comportamiento energético de una fachada ventilada opaca

## 1.2 Sistema de climatización termoeléctrico

El sistema de climatización está basado en el efecto Peltier que se produce cuando una corriente eléctrica pasa a través de dos materiales semiconductores metálicos diferentes (tipo n y tipo p) conectados entre sí mediante dos conexiones que inicialmente están a la misma temperatura. La corriente eléctrica provoca un flujo de calor entre una unión y la segunda. De este modo, mientras una de ellas se enfría, la otra se calienta. Cuando se cambia el sentido de la corriente, se invierte también el sentido del flujo de calor.

La tecnología que utiliza la termoelectricidad ya se encuentra desarrollada hoy en día, aunque está relegada a las industrias militar y aeroespacial [4]. Aunque existen algunas aplicaciones de climatización por termoelectricidad están limitadas a aplicaciones en vidrios [5] o aplicaciones a pequeña escala [6]. La Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra dispone de la patente para “módulo de fachada prefabricado y descentralizado para el acondicionamiento de espacios habitados” [7], [8](“Figura 2”).

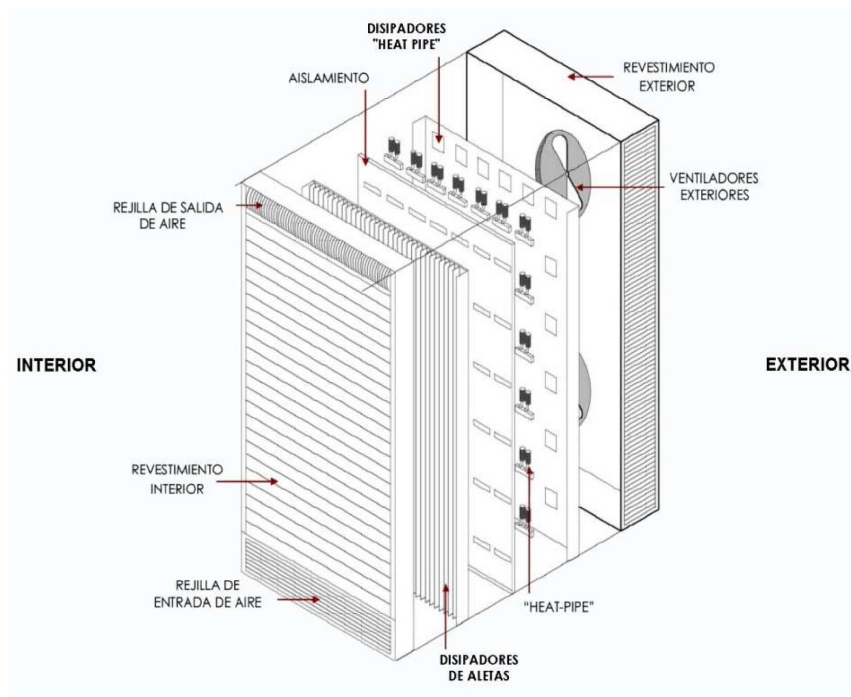


Figura 2: Esquema del primer prototipo de sistema de climatización termoeléctrico

El acondicionamiento de aire por termoelectricidad ofrece, por tanto, la posibilidad de calentar y enfriar con una única instalación. Se trata de un sistema de gran fiabilidad que presenta muy bajos costes de mantenimiento. Además, con sistemas adecuados, permite llegar a un control muy preciso de las temperaturas. La instalación, por otra parte, no emite CO<sub>2</sub> y es susceptible de convertirse en una unidad completamente independiente si se alimenta con energía solar. No necesita instalaciones auxiliares (como calderas o torres de refrigeración) y tampoco precisa de tubos o conductos, unido a que permite un control individualizado de las condiciones interiores de confort, reduce la superficie ocupada por la instalación y elimina el mantenimiento de las mismas. Por contra, presenta algunos inconvenientes, como el alto precio, cuando se compara con otras soluciones.

## 2. FACHADA VENTILADA TERMOELÉCTRICA ACTIVA

Las condiciones climatológicas que afectan al edificio cambian a lo largo del tiempo (ciclos noche-día y estacionales) y del mismo modo lo hacen la ocupación o las preferencias de confort. A pesar de estas condiciones cambiantes, las envolventes de los edificios han sido tradicionalmente diseñadas como “sistemas rígidos” con propiedades fijas y que, por tanto, no pueden adaptarse a la variabilidad de las

condiciones que le rodean. Esto es lo que ocurre con la fachada ventilada opaca antes descrita. Mientras evita cualquier tipo de ganancia térmica durante los meses de verano [9] en los meses de invierno su balance energético es peor que el obtenido con una fachada no ventilada, ya que son mayores las pérdidas energéticas que se producen con la primera que con la segunda solución [10].

El proyecto se centra de manera particular en el estudio de la influencia en el consumo energético que proporciona la activación y el control de la cámara exterior de este nuevo cerramiento y su funcionamiento de forma conjunta con el sistema de climatización termoeléctrico. Para ello se ha diseñado y caracterizado un módulo de cerramiento de fachada activo con células Peltier, cuya cámara exterior de aire es controlada en función de las condiciones ambientales para conseguir un mayor ahorro energético.

De este modo el comportamiento de la fachada activa termoeléctrica funciona siguiendo el esquema planteado en la “Figura 3”. En los meses de invierno se cierra la ventilación de la cámara para potenciar la acumulación de calor en su interior, dicho calor se transmite al interior del habitáculo a través de las células Peltier. Sin embargo en los meses de verano el sistema termoeléctrico extrae el exceso de calor del interior de la habitación hacia la cámara, en este caso la ventilación es libre en la cámara para disipar el calor hacia el exterior.

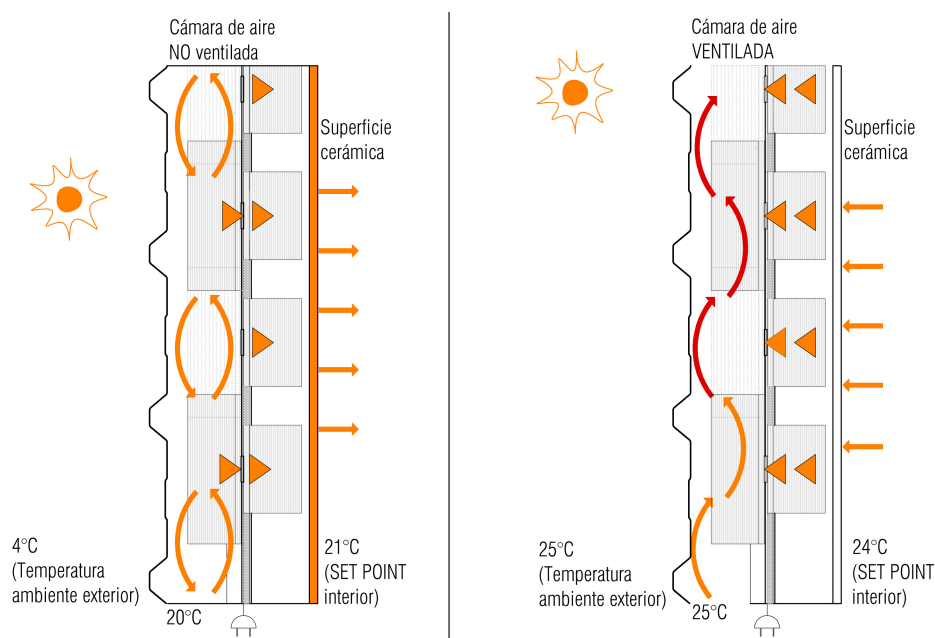


Figura 3: Esquema del comportamiento energético de la fachada activa termoeléctrica con los disipadores interior durante régimen de invierno (a) y verano (b).

### 3. METODOLOGÍA

Con la intención de cuantificar y comprobar el comportamiento real de las ideas antes planteadas, en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra (Pamplona), se ha construido un prototipo del sistema de fachada innovador y se ha instalado en un módulo prefabricado de ensayo que simula una habitación tipo.

Con la intención de obtener datos objetivos y comparables sobre el comportamiento energético de la nueva fachada, paralelamente se ha construido un módulo prefabricado de prueba idéntico al anterior dotado con una fachada ventilada y una climatización convencional. Esto permite obtener los valores de consumo de dos soluciones diferentes sometidas a idénticas condiciones. El objetivo es monitorizar ambos prototipos a lo largo de un año solar completo, con objeto de evaluar su funcionamiento y capacidad de respuesta frente a situaciones reales y establecer su viabilidad constructiva.

### 3.1 Diseño de los prototipos de ensayo

Los prototipos de ensayo han sido construidos tomando como base módulos prefabricados, es decir, casetas de obra. Dichos módulos han sido forrados tanto por el interior como por el exterior mediante sendas capas de material aislante. En el interior se ha revestido con cerramiento metálico para evitar elementos que aporten inercia térmica al conjunto de la fachada (“Figura 4”).

Por otra parte, se han instalado dos módulos en altura para incrementar el efecto chimenea, ya que a mayor altura de la cámara, se produce mayor diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y por tanto mayor tiro natural y mayor ventilación.



Figura 4: Fotografía del proceso de construcción de los dos prototipos de ensayo.

La única fachada objeto de estudio es la fachada suroeste, puesto que se trata de la fachada con las condiciones más desfavorables en cuanto a temperaturas superficiales. El resto de fachadas se ventilan libremente. La composición de la fachada es la siguiente (“Tabla 1”):

Tabla 1: Composición de la fachada

Material	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> K)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Chapa perfilada de acero tipo TZ60	0,8	-	-
Cámara de aire (ventilada)	100,0	-	-
Panel de lana de roca de doble densidad 100-40 kg/m <sup>3</sup>	80,0	-	2,35
Panel sándwich con lámina de aluminio y PUR rígido	35,0	0,028	1,25
Panel de lana de roca	50,0	-	1,40
Placa de yeso laminado	12,5	0,250	0,05

Únicamente se climatiza la habitación inferior de los dos prototipos; de esta manera los dos habitáculos superiores se configuran como habitaciones de servicios para instalar todos los cuadros de control y ordenadores.

### 3.2 Diseño del nuevo sistema termoeléctrico

El sistema termoeléctrico instalado en este proyecto, toma como base el objeto de la patente descrita en el apartado 1.2, en el que se han introducido algunas modificaciones para mejorar su comportamiento.

El sistema instalado tiene 1.000 W de potencia térmica, mediante la instalación de 20 células Peltier de 51,4 W cada una a 12 V en corriente continua. Las dimensiones del equipo son 1200 x 1800 mm de superficie y 250 mm de espesor. De este modo, los disipadores exteriores quedan dispuestos en el centro de la cámara de aire, de manera que se aprovechan al máximo las condiciones alcanzadas por las estrategias pasivas aplicadas. La terminación del equipo en su cara interior es de gres porcelánico de 14 mm de espesor, para optimizar el confort térmico en el interior del habitáculo.

El sistema de climatización termoeléctrico está instalado en la fachada suroeste, ya que se trata de la única fachada objeto de estudio (“Figura 5”).



Figura 5: Fotografía de la instalación del sistema de climatización termoeléctrico en la fachada suroeste del prototipo 2.1.

### 3.3 Monitorización y recogida de datos

Ambos prototipos han sido equipados con idéntico número de sensores para obtener datos del comportamiento de las fachadas y sus sistemas de climatización. Dichos sensores aportan información de las temperaturas de las diferentes hojas de la fachada y la velocidad de aire en el interior de la cámara (“Tabla 2”). Además recibimos información sobre las condiciones exteriores (estación meteorológica) y del consumo eléctrico de los dos tipos de sistema de climatización.

Tabla 2: Listado de los sensores colocados

Parámetro de medida	Ubicación	Número	Altura	Orientación
Velocidad de aire	Ventilación del aire de la cámara	4	H1, H3	Suroeste
		4	H1, H3	Noreste
Temperatura	Viento	1		
	Ambiente exterior	1		
	Ambiente interior	2		
	Superficial	16	H1, H2,H3	Suroeste
		8	H2	Noreste
Ambiente de la cámara	6	H1,H2,H3	Suroeste	
Humedad relativa	Ambiente exterior	2	H2	Noreste
		1		
	Ambiente interior	2		
Radiación solar	Ambiente exterior	1		
Consumo eléctrico	-	2		
Los sensores están colocados por grupos en tres alturas a lo largo de la fachada: H1 (en la parte inferior de la fachada), H2 (a media altura de la fachada) y H3 (en la parte superior de la fachada)				

Además se ha instalado un complejo sistema de control y regulación E + PLC desarrollado sobre una plataforma PLC (Programmable Logic Controller) basada en estándares abiertos combinada con un control PID de precisión y registro seguros, que nos proporciona mediadas exactas de las variables de proceso, que, además, permite modificar y actuar sobre el comportamiento del sistema termoeléctrico y simular casos concretos.

Cabe destacar las mediciones de alta estabilidad el elevado nivel de rechazo de ruido de entrada, la linealización exacta para los sensores de temperatura, control PID con autoajuste, registro, supervisión y control remoto. Se puede almacenar datos históricos en medios locales y/o a través de una red de un servidor. Visualizar y almacenar de forma gráfica cualquier variable de entrada o salida, exportar los datos.

#### 4. RESULTADO

El resultado de todo este proceso de diseño ha sido la construcción de dos módulos de ensayo/prototipos versátiles que ofrecen muchas posibilidades y diferentes configuraciones, por lo tanto son muchos los ensayos y datos que se pueden obtener (“Figura 6”)



Figura 6: Fotografía de los dos prototipos de ensayo. El prototipo 2.0 (derecha) dispone de un sistema de climatización convencional y una fachada ventilada sin control y el prototipo 2.1 (izquierda) dispone del nuevo sistema de climatización Peltier y control de la cámara de aire

Cabe destacar que a la dificultad propia de cualquier construcción se le ha añadido el ajustado presupuesto que, en este caso, ha obligado a la utilización de elementos y soluciones estándares. El proceso de ejecución ha sido seguido muy de cerca para que las condiciones de ensayo fuesen las adecuadas para los objetivos que se persiguen en este estudio, controlando especialmente la eliminación de puentes térmicos y los fallos de estanqueidad del sistema.

La construcción de los módulos de ensayo ha sido finalizada recientemente y los primeros ensayos han permitido detectar algunos problemas de calibración de los aparatos de medida y control. Del mismo modo se ha podido constatar que la colocación del equipo termoeléctrico genera un importante puente térmico cuando el sistema está apagado.

#### 5. CONCLUSIONES

El diseño de este sistema de fachada activo termoeléctrico ha sido estudiado en profundidad no sólo para valorar la viabilidad de un sistema de climatización innovador y único en el mercado basado en las células Peltier, sino para optimizar el comportamiento actual de los cerramientos ventilados. El principal objetivo es el de conseguir un sistema capaz de adaptar su configuración y comportamiento en función de las condiciones ambientales.

Dado el enfoque experimental del presente trabajo cabe destacar la importante labor de diseño constructivo no sólo en el diseño de los módulos de ensayo sino en la caracterización del nuevo sistema de fachada, así como la labor de seguimiento de obra. Las labores de gestión de este proyecto son equiparables a las propias de cualquier obra: diseño, presupuesto, planificación y organización.

El proceso de diseño y construcción de los prototipos ha sido especialmente cuidado con el propósito de que ambos fueran idénticos y que las condiciones estuvieran totalmente controladas por los investigadores.

Los trabajos de construcción e instalación de todos los sensores y sistemas de control finalizaron en el mes de octubre de 2015 por lo que sólo se han podido recoger muy pocos datos y no es posible arrojar conclusiones sobre el comportamiento y la viabilidad de las medidas diseñadas.

## AGRADECIMIENTOS

Tenemos que agradecer la ayuda recibida por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España a través del proyecto BIA2013-46463-R a la Asociación de Amigos de la Universidad de Navarra y a las diferentes empresas que han colaborado de forma desinteresada: JACAR, ROCKWOOL, AISLAMIENTOS SAN FERMÍN, TECZONE y TROX.

## REFERENCIAS

- [1] IDAE, Eurostat, Gobierno de España. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. 2011.
- [2] WWF/Adena, Consultores E. Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020. Madrid, España: 2010.
- [3] Balocco C. A Simple Model to Study Ventilated Facades Energy Performance. *Energy Build* 2002;34:469–75. doi:10.1016/S0378-7788(01)00130-X.
- [4] Burke EJ, Buist RJ. A Thermoelectric Cooling/Heating System for a Hospital Therapy Pad n.d.:80–3.
- [5] Arenas Alonso A, Pagola de las Heras FL, Palacios Hielscher R, Rodríguez Pecharromán R, Vázquez Arias J. Paramento transparente activo (PTA) en aplicaciones de climatización. *RE Rev Edif* 2007:101–9.
- [6] Cheng T-C, Cheng C-H, Huang Z-Z, Liao G-C. Development of an energy-saving module via combination of solar cells and thermoelectric coolers for green building applications. *Energy* 2011;36:133–40. doi:10.1016/j.energy.2010.10.061.
- [7] Prefabricated and Decentralized Facade Module for the Climate Control of Inhabited Spaces. 201101142, n.d.
- [8] Martín-Gómez C, Ramos JC, Rivas A, Eguaras-Martínez M, Mambrilla-Herrero N, Torres J. Prototype Thermoelectric Climate System For Its Use In Residential Buildings. 29th Int. Conf. Thermoelectr., Shangai, China: 2010.
- [9] Aparicio-Fernández C, Vivancos J-L, Ferrer-Gisbert P, Royo-Pastor R. Energy Performance of a Ventilated Façade by Simulation with Experimental Validation. *Appl Therm Eng* 2014;66:563–70. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.02.041.
- [10] Suárez MJ, Sanjuan C, Gutiérrez AJ, Pistono J, Blanco E. Energy Evaluation of an Horizontal Open Joint Ventilated Façade. *Appl Therm Eng* 2012;37:302–13. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.11.034.

Publicado en / Published in:

**“Diseño de una fachada termoelectrica activa”. CONTART 2016 Convención de la Edificación, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada. María Ibañez-Puy, José Antonio Sacristán, César Martín-Gómez. ISBN: 978-84-338-5894-8, pp.427-436.**