



## Una alternativa al ahorro energético en edificios de oficinas

# PSE-ARFRISOL

Este artículo describe el desarrollo de un proyecto de arquitectura bioclimática y frío solar en el sector terciario que pretende alcanzar ahorros energéticos del 80-90% para aplicarlos al sector residencial.

Por **MARÍA DEL ROSARIO HERAS CELEMÍN** y **JESÚS HERAS RINCÓN**. Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación (UiE3). Av. Complutense, 22, Ed. 42. 28040 Madrid. [jesus.heras@ciemat.es](mailto:jesus.heras@ciemat.es)



Los contenedores-demostradores de investigación (C-Ddl) de la Plataforma Solar de Almería (arriba) y del Centro de Investigaciones en Energía Solar (derecha).



**E**l Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MICT) cifra en cinco toneladas anuales la emisión de CO<sub>2</sub> de una familia media a la atmósfera, de las cuales dos toneladas son originadas en la producción de energía eléctrica y las tres restantes proceden del consumo para el acondicionamiento del edificio, gasto centrado en calefacción, refrigeración e iluminación. Al respecto, el sector de la edificación genera más de un 33% del consumo energético. Para reducir estas cifras, el Gobierno

*El Código Técnico de la Edificación, de marzo de 2006, pretende reducir la demanda de energía de los edificios a partir del diseño de los mismos*

aprobó, en marzo de 2006, el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), de obligado cumplimiento desde el 29 de septiembre de ese mismo año. Esta normativa pretende conseguir la reducción de la demanda de energía de los edificios a par-

tir del diseño de los mismos, así como la toma en consideración del uso de Captadores Solares Térmicos (CST) para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Paneles Fotovoltaicos (PV) para la generación de energía eléctrica para electrodomésticos e iluminación. Unos requerimientos que se pueden solucionar con el uso de estas técnicas y de la arquitectura bioclimática encareciendo la construcción entre un 10 a un 15%, con posibilidades de amortizar la inversión en un plazo de cinco a diez años.

Para profundizar en este tema teniendo casos reales analizados, cuantificados y estudiados en condiciones reales de uso y por primera vez en España, desde el año 2005, el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) –actualmente, y antes el Ministerio de Educación y Ciencia–, a través del Plan Nacional de I+D, pone en marcha un Proyecto Singular y Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL), coordinado por el CIEMAT, para reducir el consumo energético en cinco edificios de oficinas ubicados en muy distintas climatologías (Almería, Madrid, Asturias y Soria). La idea es experimentar en el sector terciario (oficinas de 1.000 m<sup>2</sup>) y poder extrapolar los avances que se consigan en ahorro energético al sector residencial. El objetivo de este estudio es conseguir que cada prototipo, denominado «contenedor-demostrador de investigación (C-DdI)», consiga ahorrar de un 80 a un 90% de la energía convencional en su acondicionamiento térmico a través de la adecuación de la arquitectura bioclimática y la aplicación de la energía solar para calefacción y refrigeración.

El esquema de trabajo de PSE-ARFRISOL contempla el desarrollo de nueve subproyectos (SP). El primero se centra en estudios previos o simulación, seguido de cinco subproyectos dedicados a trabajos de obra y construcción de los cinco C-DdI (SP2 - SP6); otro sobre evaluación energética (SP 7), y otro más, centrado en el desarrollo de I+D de los Sistemas (SP 8), así como un último subproyecto (SP9) de difusión para «cambiar la mentalidad» de los ciudadanos sobre el ahorro de energía en los edificios. En las fases de construcción participan Dragados, OHL, FCC Construcciones, Acciona y Drace. La parte tecnológica la desarrollan Atersa, Gamesa Solar, Unisolar, Isofotón y Climatewell. La coordinación del proyecto, así como buena parte de la investigación, corre a cargo de la Unidad de Eficiencia Ener-

gética en la Edificación (UiE3) del CIEMAT; en los aspectos científicos se cuenta con la colaboración de las universidades de Almería y Oviedo, y con la Fundación Barredo como propietaria del C-DdI del SP 5. Además, la Real Sociedad Española de Física (RSEF) participa en la difusión del proyecto (SP 9), junto con el CIEMAT, elaborando unidades didácticas para acercar este tema a alumnos de enseñanza primaria, secundaria, bachillerato y tecnología, que son evaluadas convenientemente en diversos centros educativos elegidos mediante muestreo en las comunidades autónomas en las que se desarrolla el proyecto. Adyacente a este objetivo, la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación (UiE3) del CIEMAT está emitiendo documentos sobre ahorro energético con resultados de la evaluación de diversos edificios desde 1986 y las ventajas de este tipo de edificios para intentar concienciar a la sociedad y «cambiar mentalidad» sobre el consumo de energía en el sector de la edificación. Los resultados están siendo publicados en revistas especializadas, periódicos y otros medios de comunicación de masas (radio, televisión e Internet).

### Detalles constructivos

En cuanto al diseño arquitectónico de los cinco C-DdI, se han considerado los diferentes materiales empleados en la construcción, adaptándolos a la climatología y a los proyectos de cada uno de ellos realizados por los cinco equipos de arquitectos que intervienen en PSE-ARFRISOL.

*PSE-ARFRISOL pretende ahorrar un 90% de energía en el acondicionamiento de cinco edificios por medio de la arquitectura bioclimática y la energía solar*

El primero de ellos, el Centro de Investigaciones en Energía Solar (CIESOL), inaugurado en el año 2005, está destinado para las oficinas del personal de la Universidad de Almería y del CIEMAT. Diseñado por el arquitecto almeriense Javier Torres Orozco, fue inaugurado en diciembre de 2005. Investigadores de ambos centros participan en la toma de datos relativos a la calidad del aire y al comportamiento energético. Los detalles constructivos de CIESOL incluyen materiales como la piedra, el ladrillo y la chapa; además, cuenta con fachadas ventiladas, muros gruesos al norte y delgados al sur. Acompañan a estas instalaciones captadores solares y bombas de absorción, máquinas que transforman el calor en frío. Son dos sistemas que asisten las necesidades de calefacción y refrigeración a través de energías no contaminantes.

A escasos 40 kilómetros de distancia, y también en Almería, se encuentra el C-DdI de la Plataforma Solar de Almería (PSA), inaugurado en diciembre de 2007. El diseño fue realizado por el arquitecto Juan José Rodríguez García. Entre los materiales utilizados destacan el ladrillo, el mármol de Macael, el hormigón armado y el cemento, junto a cerramientos de poliuretano proyectado. Los pavimentos, de gres compacto, configuran un edificio de gran apariencia bioclimática. Desde septiembre de 2006, fecha en la que comenzaron las obras, la UiE3 ha trabajado conjuntamente con las empresas participantes para mejorar el diseño de los forjados, las losas alveolares y la optimización en la entrada de radiación solar en los despachos o la integración de las marquesinas de sombreado. Además, se ha insistido en la puesta en marcha de suelo radiante para la calefacción, de tubos enterrados desarrollados para la entrada de aire atemperado a climatizadores o en la perfecta integración de los paneles fotovoltaicos en la estructura inicial del edificio. Este proyecto incorpora avanzadas

técnicas bioclimáticas, tanto activas (captadores solares térmicos, bombas de absorción y paneles fotovoltaicos) como pasivas (chimeneas solares, doble pérgola o ventilación cruzada).

Muy diferente es la ampliación del actual Edificio 70 del CIEMAT, en Madrid, que cuenta con una fachada ventilada de plaqueta cerámica y una doble pérgola diseñada para soportar los captadores solares térmicos y sombrear la cubierta principal de la construcción. Este C-DdI, ya terminado y ocupado en marzo de 2008, será previsiblemente inaugurado de manera oficial después de este otoño. En el diseño, efectuado por el arquitecto del CIEMAT Juan Carlos Gutiérrez García, predominan los materiales cerámicos en fachada y muros; asimismo, tiene implícito el uso de paneles fotovoltaicos integrados en las ventanas y en la parte lateral de la fachada. Por otro lado, los captadores solares aportan la energía térmica necesaria para el apoyo a la calefacción y para el funcionamiento de las bombas de absorción, centradas en la obtención del efecto conocido como «frío solar» ya descrito en el C-DdI del CIESOL.

El penúltimo C-DdI es el edificio de la Fundación Barredo, en la localidad asturiana de San Pedro de Anés, diseñado por los arquitectos Emilio Miguel Mitre y Carlos Expósito Mora. En su estructura (se empezó a construir en abril de 2007) se encuentran fachadas ventiladas, galerías-invernaderos o muros de inercia. Sus materiales se componen de piedra de Covadonga y madera o aislante de lana de roca, que dan como fruto una apariencia parecida a la de un antiguo hórreo asturiano. Entre las instalaciones encontramos máquinas de absorción para afrontar los días más calu-

### *Cinco equipos de arquitectos han diseñado los C-DdI con distintos materiales constructivos, adaptándolos a las diferentes climatologías*

rosos en verano, así como una caldera de biomasa, de bajo consumo, para hacer frente a los días más fríos del año, por lo que se puede decir que este C-DdI será totalmente renovable.

El último C-DdI de PSE-ARFRISOL, el Centro de Control y Accesos del Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), en Cubo de la Solana (Soria), es el único C-DdI que ya existe, por lo que en realidad se trata de una rehabilitación. Su construcción se inició en septiembre de 2007 y su finalización está prevista para diciembre de 2008. De acuerdo al proyecto de obra, diseñado por Emilio Miguel Mitre y Carlos Expósito Mora, el edificio tiene una doble piel en fachada que protegerá el interior de las altas temperaturas en verano o del duro invierno de la zona. Como complemento constructivo destaca la lana de roca, que se utiliza como ais-

lamiento no contaminante, y el recubrimiento exterior de paneles GRC. Además, como el resto de los C-DdI, estará dotado de máquinas de absorción, empleadas para refrigerar el edificio mediante «frío solar» y, al igual que el de la Fundación Barredo, tendrá implícita una caldera de biomasa de bajo consumo para afrontar el duro invierno de la región en lugar de otra energía convencional de apoyo.

### **Metodología de la investigación, un paso adelante a partir del CTE**

Ahora bien, para llevar a cabo lo que exige el CTE, tal y como comentábamos al inicio del artículo, se debe dar «un paso adelante» sobre la nueva normativa con el uso de la energía solar para el acondicionamiento térmico de edificios, usándola para calefacción y refrigeración, y no sólo quedarse en lo que exige el CTE, esto es, producción de agua caliente sanitaria (ACS).

En definitiva, se busca el aprovechamiento del clima, la orientación y el diseño relativo a cada construcción para reducir el consumo energético, apoyado en la utilización de captadores solares y máquinas de absorción para profundizar en el estudio del «frío solar», es decir, utilización de la aplicación térmica de la energía solar, contando también con la incorporación de módulos fotovoltaicos. Tanto los sistemas pasivos como los activos estarán integrados en la envolvente de los C-DdI.

Los investigadores de PSE-ARFRISOL, para tener un conocimiento detallado de este tipo de construcciones, usan métodos teóricos (simulación) y experimentales (monitorización) para medir, evaluar y cuantificar cada aporte o pérdida de energía.

La simulación consiste en la utilización de modelos matemáticos que incluyen las



descripciones de los procesos de intercambio de calor y masa presentes en un edificio (conducción, convección, radiación, infiltraciones, etc.). A partir de datos climáticos, diseño arquitectónico, estrategias pasivas y cargas energéticas internas (iluminación, ocupación, aparatos eléctricos y equipos de climatización, etc.), la simulación permite predecir el comportamiento energético del edificio (temperaturas interiores, demandas de calefacción y refrigeración, humedades relativas, etc.). Estos indicadores aclaran que este proceso puede ser muy largo ya que cada factor se comprueba numerosas veces para obtener un conocimiento teórico del futuro comportamiento del mismo.

Dada la complejidad matemática de estas tareas, se han desarrollado, y se utilizan, diferentes *software* especializados en el análisis energético de edificios: ESP-R, DOE-2, SERI-RES, TRNSYS, ENERGY-PLUS, etc., dependiendo de las necesidades de cada caso, aunque esto necesita el desarrollo de algoritmos matemáticos y de bastante investigación sobre las diferentes estrategias de diseño, que son más completos y complejos que el LIDER y el CALENER, modelos recomendados por el CTE.

En el proceso de monitorización se realizan balances energéticos a partir de valores experimentales reales registrados; tanto de las variables meteorológicas exteriores (radiación solar, temperatura ambiente, humedad, velocidad y dirección de viento) como de las interiores, para caracterizar el comportamiento energético y el confort térmico alcanzado (temperatura y humedad). Un proceso que se inicia inmediatamente después de construirse el edificio para medir en condiciones reales de uso. En

PSE-ARFRISOL se prevé que este proceso dure entre los años 2008 –cuando se espera que terminen las obras de los edificios– y 2010.

### Evaluaciones energéticas de cada C-DdI

#### ■ Estudios teóricos

El fruto de estas investigaciones teóricas son las diferentes propuestas energéticas que llevan a cabo los investigadores de PSE-ARFRISOL, luego integradas por cada uno de los arquitectos mencionados en cada C-DdI. Por ejemplo, en el C-DdI de la PSA se analizó, y se insistió, en la construcción de una doble pérgola para integrar tanto paneles radiantes para enfriamiento radio-convec-tivo nocturno como captadores solares para calefacción y refrigeración solar (má-

*PSE-ARFRISOL permitirá medir el comportamiento de los cinco edificios durante tres años para comprobar que se alcance el ahorro de energía previsto*



quina de absorción) por suelo radiante; además, este C-DdI tiene chimeneas solares combinadas con filtros humectantes. Son factores que potenciarán el ahorro de energía respecto a un edificio convencional.

En el caso de CIESOL se han estudiado las corrientes de aire en el interior, la temperatura, el viento y la humedad. El resultado es un estudio pormenorizado de la ventilación cruzada existente en el C-DdI para evitar una heterogeneidad de la temperatura media interior. Este hecho ayudará a tener una temperatura constante interior en la construcción independientemente de la climatología mediterránea de Almería.

En el siguiente C-DdI, el Ed-70 del CIE-MAT, los investigadores han propuesto la ejecución de un sombreado en la fachada sur de la construcción. Esta estructura lleva implementados paneles fotovoltaicos (FV) en las plantas primera y segunda para regular las altas temperaturas del verano de Madrid.

Muy diferentes son los estudios energéticos de los C-DdIs de la Fundación Barredo y del Centro de Control de Accesos del CEDER, que se han centrado en comprobar cómo se comporta la galería central acristalada de ambas estructuras y los sombreados implícitos en los dos proyectos para potenciar la ganancia solar en la época invernal.

En definitiva, todas estas comprobaciones pretenden optimizar el comportamiento energético del edificio. Según la Uie3, un estudio riguroso de cada C-DdI, comprobado en condiciones reales de uso, ayudaría a reducir el consumo de un 60 a un 100%, pues se ha comprobado que sólo con técnicas solares pasivas el consumo puede ser del orden del 50%, técnicas

solares pasivas a las que hay que sumar las obtenidas con las solares activas integradas. Esto se comprobará una vez que se acaben de construir los cinco C-DdIs.

### ■ Estudios experimentales

En la actualidad ya han concluido los trabajos de simulación teórica global de los cinco prototipos a partir de los proyectos diseñados por los arquitectos, así como el de las instalaciones de cada uno de los C-DdI. En este momento, los investigadores de PSE-ARFRISOL están iniciando el análisis del consumo energético en condiciones reales de uso del Ed-70 del CIEMAT y del C-DdI de la PSA. Estas comprobaciones, centradas dentro de la monitorización, implican, por un lado, el análisis del edificio, y por otro, el estudio individual de cada estrategia solar pasiva y activa utilizada.

- En CIESOL, que fue inaugurado en diciembre de 2005, ha concluido la puesta en marcha de los sensores térmicos, tanto en el exterior como en el interior del edificio. En lo referido al Ed-70 del CIEMAT en Madrid y el adyacente al de la PSA, desde hace más de un año se han instalado sensores, de las mismas características que los anteriores, para medir la parte ya existente de la construcción, al ser una obra que consiste en una ampliación de un edificio ya existente al Ed-70 del CIEMAT.

- Pero lo realmente importante es la medición de los condicionantes exteriores e interiores para poder cuantificar el comportamiento de los nuevos C-DdIs. Por un lado, las medidas de temperatura, humedad, velocidad del viento o radiación solar exterior orientan sobre el comportamiento de los componentes y materiales en «la piel del edificio», mientras que los datos sobre temperatura, humedad, calidad del aire e intercambios térmicos con el terreno evalúan, entre otros datos,

el confort térmico de los ocupantes de la construcción.

En lo referente al estudio de técnicas constructivas individuales, los investigadores han decidido colocar sensores en varios C-DdIs, midiendo la temperatura del aire en los tubos enterrados del C-DdI de la PSA para comprobar el comportamiento de esta técnica bioclimática y verificar cómo afecta al comportamiento del edificio, así como los tubos enterrados de agua para intercambio de calor con el terreno, en el C-DdI de la Fundación Barredo. Asimismo, se ha previsto la colocación de sensores de temperatura en la parte inferior de cada C-DdI para evaluar el intercambio térmico de éstos con el terreno sobre el que se asientan. Dichos sensores ya han sido instalados en el C-DdI de la PSA, en el de la Fundación Barredo y en el Ed-70 del CIEMAT; en el C-DdI del CEDER, dado que se trata de una rehabilitación, los investigadores consideran la posibilidad de colocación de dichos sensores.

Pero sin duda, lo que marca la diferencia, y es una característica importante de PSE-ARFRISOL, es que se va a medir y cuantificar el comportamiento de los edificios durante al menos tres años (2008-2009-2010) para asegurar el objetivo de ahorrar energía en el acondicionamiento del orden del 80 al 90%. Esta idea determinará las carencias y ventajas de cada C-DdI según se vaya utilizando y evaluando energéticamente su comportamiento, en condiciones reales de uso y comparando con lo estudiado teóricamente.

### Conclusiones

En definitiva, los integrantes del consorcio de PSE-ARFRISOL pretenden alcanzar cinco objetivos diferentes que conformen:

- Cinco edificios (contenedores-demonstradores de investigación) de oficinas singulares en diseño, instalaciones y resultados energéticos cuantificados en condiciones reales de uso.

- Edificios de oficinas eficientes energéticamente con un consumo de entre un 80% y un 90% menos que los actuales, medido, analizado y cuantificado.

- Instalaciones y equipos solares: captadores, módulos fotovoltaicos y bombas de absorción, estudiados y optimizados para uso racional de la energía y su puesta en el mercado.

- Módulos educativos elaborados por profesores apropiados y validados por «muestreo» en centros educativos elegidos.

- Documentos elaborados para «cambiar mentalidad» a los diferentes sectores de la sociedad, con el objetivo de convencer al usuario final en el empleo de los sistemas de calefacción y refrigeración, entre otras funciones, para ahorrar energía tanto en verano como en invierno en cualquier tipología de edificios, no sólo de oficinas. ♦

### Agradecimientos

Se agradece a todos los miembros del consorcio de PSE-ARFRISOL su colaboración. El PSE-ARFRISOL, Referencia PS-120000-2005-1, es un proyecto científico-tecnológico singular de carácter estratégico aceptado por el Plan Nacional de I+D+I 2004-2007, cofinanciado con Fondos FEDER y subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), actualmente por el Ministerio de Ciencia e Investigación (MICINN).

### PARA SABER MÁS

- [1] Revista Tecnoambiente. Número 161 (Año 2006). «PSE-ARFRISOL, un paso adelante en el ahorro de energía en edificación». Autor: Heras Rincón, Jesús.
- [2] Revista Nuevas Tecnologías. Número 4 (Año 2006). «PSE-ARFRISOL sinónimo de eficiencia energética en la edificación». Autor: Heras Rincón, Jesús.
- [3] Ecoconstrucción. Número 4 (Año 2007). «PSE-ARFRISOL en pleno desarrollo». Autor: Heras Rincón, Jesús.
- [4] El Instalador. Número Junio 2007. «PSE-ARFRISOL busca reducir el consumo energético en edificios de oficinas». Autor: Heras Rincón, Jesús.