

La eficiencia energética en la edificación

Julio José Pérez Díez, José Antonio Ferrer Tevar y María del Rosario Heras Celmín

Energy efficiency in buildings

RESUMEN

La eficiencia energética en los edificios, para que sea realmente efectiva, requiere de actuaciones que afecten tanto al diseño de los mismos, la parte pasiva, como a sus sistemas, su parte activa. Un correcto diseño, que tenga en cuenta el medio en el que se construye el edificio, supondrá de por sí un importante ahorro en la energía necesaria para mantener las condiciones de confort en su interior. Una vez reducida la demanda, a través del diseño, la incorporación de sistemas renovables para la producción de agua caliente o fría desempeña un papel fundamental en la reducción de la energía primaria convencional. Para permitir esta integración, así como una operación óptima de todo el conjunto, es necesario tener en cuenta otros conceptos como la sectorización y la modularidad.

Encargado: 27 de junio de 2013
Recibido: 30 de julio de 2013
Aceptado: 6 de agosto de 2013

ABSTRACT

Energy efficiency in buildings, to be really effective, requires actions affecting both their design, which is their passive aspect, and their systems, which is their active aspect. A correct design, taking into account the environment in which the building is constructed, will result in a significant savings in the energy required to maintain comfort conditions inside. After reducing demand through design, incorporating renewable systems to produce hot or cold water plays a key role in the reduction of conventional primary energy. To enable this integration, as well as an optimal operation of the whole, it is necessary to consider other concepts such as sectorisation and modularity.

Commissioned: June 27, 2013
Received: July 30, 2013
Accepted: August 6, 2013

Palabras clave

Energía, edificación, climatización, energías renovables, eficiencia energética

Keywords

Energy, building, air conditioning, renewable energies, energy efficiency

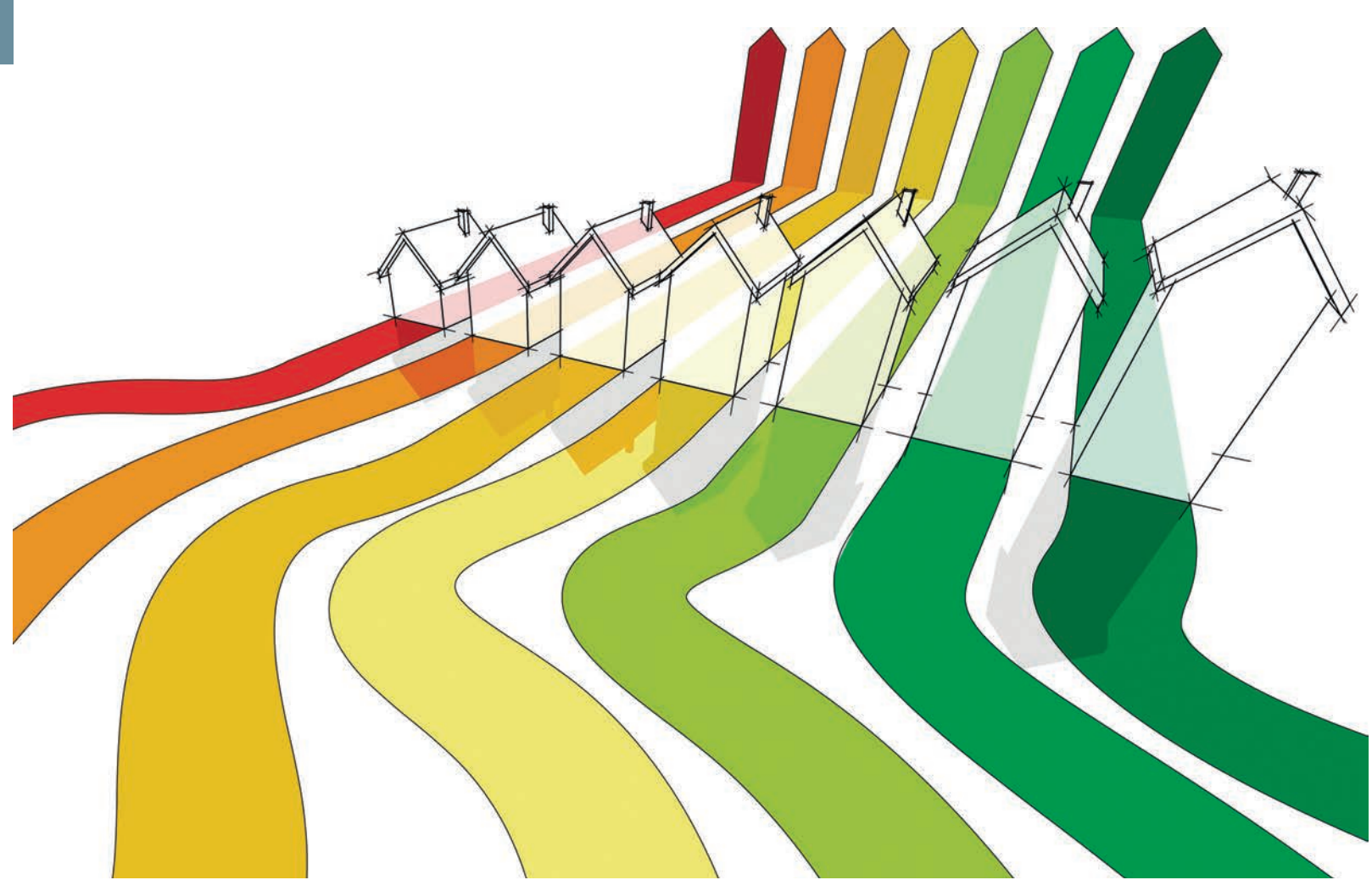


Imagen: Shutterstock

Todos los seres vivos, en general, requieren de un hábitat adecuado para el desarrollo de sus funciones vitales y es necesaria su adaptación al medio ambiente. El hombre por su carácter homeotérmico, y su limitada capacidad de protección frente a los cambios naturales de las condiciones climáticas, ha necesitado el desarrollo de técnicas para crear un espacio envolvente artificial (los edificios) que le permita subsistir a lo largo de la amplia distribución geográfica que ocupa.

Poco a poco, a lo largo de la historia, se ha ido dotando a estos espacios de elementos que permitían modificar la temperatura interior del mismo con objeto de aproximar esas condiciones interiores a las ideales para el cuerpo humano, aquel en el que el cuerpo está en equilibrio térmico con el ambiente. Aunque no debe olvidarse que colocando a una serie de individuos en las mismas condiciones térmicas, si bien habrá una mayoría que opinen del mismo modo, encontraremos diferencias de parecer sobre el estado de idoneidad de la temperatura y humedad. Por ello, al referirnos a estas condiciones ideales, hablamos de “bandas de confort” o “porcentajes de individuos en estado de confort”.

Para alcanzar dichas condiciones, estos sistemas no solo deben vencer la

inercia propia del ambiente interior sino también combatir otros factores como, por ejemplo, las pérdidas de energía por la envolvente, y todo ello a base de consumir energía. Para minimizar este gasto energético lo ideal es que, para cualquier edificio, desde la fase del diseño hasta la de explotación para la que fue concebido, se prevean, desde un punto de vista energético y de confort térmico, los efectos del clima sobre la evolución termodinámica del sistema, diseñándolos acordes al clima y al lugar en el que se construirá, así como para la utilización de los recursos naturales locales de forma que se consiga reducir la dependencia energética de las fuentes fósiles de energía.

Podría decirse que los objetivos que debe perseguir la eficiencia energética en la edificación son:

- Favorecer la utilización de los recursos naturales renovables para el acondicionamiento de los edificios, mediante el uso de técnicas naturales de acondicionamiento (considerando los componentes, las técnicas constructivas y el emplazamiento) para reducir la demanda energética del edificio.

- Integrar los sistemas de energías renovables en los procesos de climatización (calefacción y refrigeración) y de

generación de electricidad, integrándolos en el edificio como otros componentes más del mismo.

- En caso de necesitar aportes energéticos de fuentes no renovables, buscar que estos sean utilizados recurriendo a sistemas más eficientes y modulables posible.

Análisis energético. Modelado, simulación y monitorización

La normativa española, principalmente el Código Técnico de la Edificación, regula el comportamiento energético del edificio, limitando su demanda energética. Existen dos herramientas informáticas oficiales (Lider y Calener) para el cálculo y la justificación de las exigencias básicas en lo que al ahorro energético se refiere.

Como complemento al Código Técnico, el pasado mes de junio se aprobó mediante real decreto (235/2013) el “procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios”, ampliando los supuestos en los que es necesaria la certificación energética a edificios o espacios que se transfieran o alquilen. Dicho real decreto viene acompañado de nuevas herramientas informáticas de certificación, diferentes de las anteriores, y desarrolladas teniendo

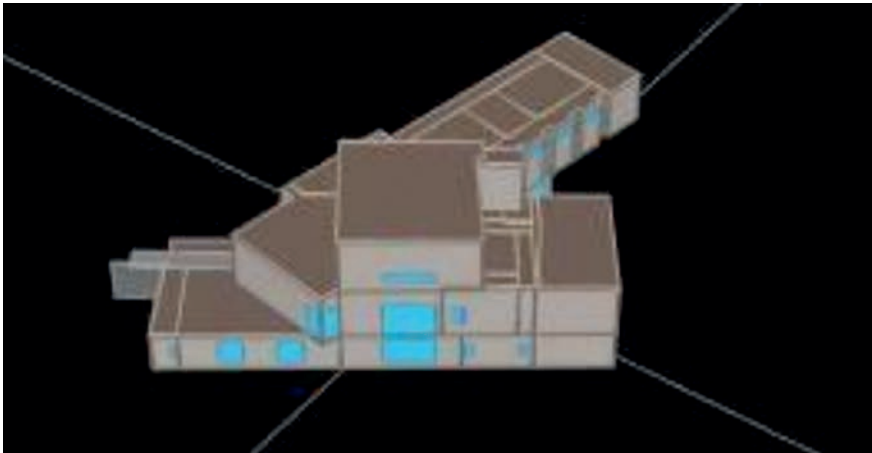


Figura 1. Imagen del modelado de un edificio con Calener.

en cuenta las dificultades propias del análisis de construcciones ya existentes y de las que, en la mayor parte de los casos, se cuenta con escasa información relativa a materiales, composición de cerramientos, etc.

La selección y combinación adecuada de las técnicas que se describen más adelante, para alcanzar los objetivos marcados por esta normativa (tanto para el control y la reducción de la demanda como para la propuesta de modificaciones para mejorar la calificación energética del edificio), requiere de un estudio detallado tanto de las mismas como de las condiciones de contorno a las que se verá sometido el edificio..

Para acotar el número de soluciones posibles y localizar entre todas ellas aquella que consigue los mejores resultados a nivel energético, se puede recurrir a modelos de simulación de los edificios. Un modelo de simulación es una representación abstracta de un sistema real que permite valorar y predecir el comporta-

miento energético de un diseño, lo que permite conocer su comportamiento a corto plazo e, incluso, a en el futuro.

Una forma de clasificar los modelos de simulación sería, cubriendo los tres niveles de complejidad que se presentan en la literatura clásica, la siguiente:

- *Los métodos estáticos* son los que adoptan las hipótesis más restrictivas en cuanto al campo de aplicación del modelo, así como a la cantidad y fiabilidad de los resultados obtenidos (grados-día y bim).
- *Los métodos de correlación* se basan en simplificaciones de modelos más amplias, obtenidas a partir del estudio sistemático de diversos fenómenos, utilizando, generalmente, como fuente de información los métodos más detallados de simulación energética de edificios: los métodos dinámicos. Asimismo, estos modelos hacen uso de leyes empíricas sencillas que tienen un carácter general.
- *Los métodos de simulación dinámicos* son los que mayor complejidad presen-

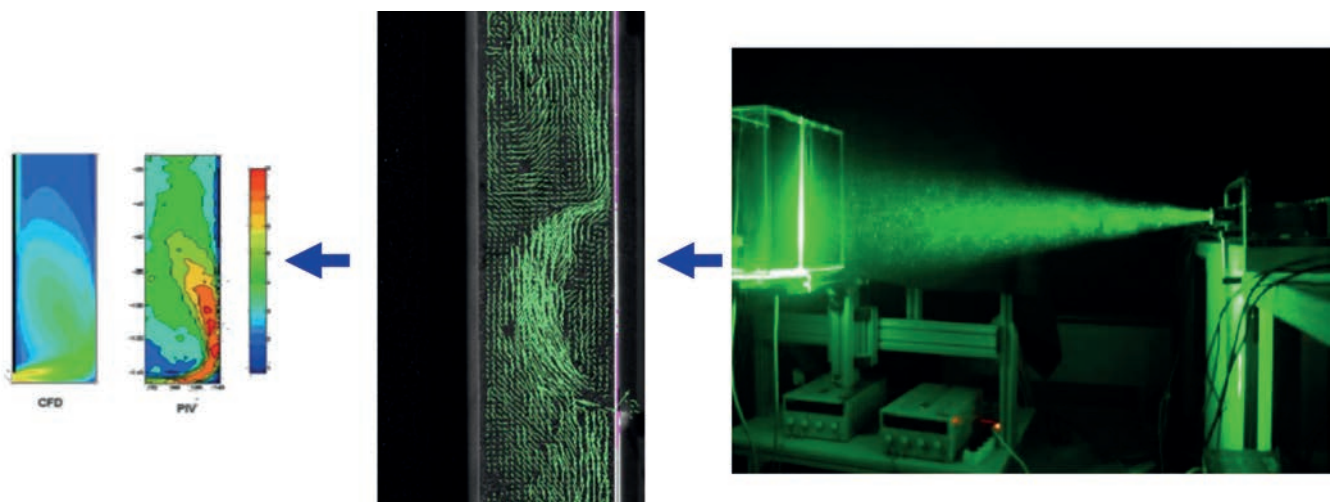
tan, ya que requieren una definición exhaustiva del edificio y una resolución a tiempos de paso cortos del sistema de ecuaciones planteado (normalmente de una hora). Los modelos obtenidos de esta forma necesitan la entrada de una cantidad considerable de información y, por tanto, su manejo es complicado. No obstante, son los que permiten modelizar con mayor definición el diseño del edificio, sus sistemas y su entorno climático, por lo que resultan de mayor utilidad. Actualmente, existen múltiples programas validados internacionalmente para calcular, de manera dinámica, la respuesta energética del edificio.

La exactitud de las simulaciones depende de la exactitud de los modelos físico-matemáticos que se utilicen, por lo que estos deben ser desarrollados de manera exhaustiva, completando los análisis teóricos con desarrollos experimentales de los mismos que sirvan de validación.

La evaluación energética empírica (experimental), o monitorización, se realiza a través de la medida de la respuesta energética del edificio a las condiciones exteriores.

El empleo sistemático de la misma es útil desde diversos puntos de vista. Desde el científico, el planteamiento de experimentos sirve para dos funciones básicas: el desarrollo y/o mejora de algoritmos de simulación de fenómenos térmicos en el edificio y la validación de códigos de simulación a través de la comparación de los resultados teóricos con los datos experimentales. Y desde el punto de vista técnico sirve para desarrollar metodologías que permitan cubrir campos tales como: la caracterización de edificios desde el punto de vista energético, el desarrollo

Figura 2. Modelado experimental de un elemento constructivo mediante técnica PIV.



de sistemas de control automático y la detección de errores en la operación de los edificios, con el fin de realizar rehabilitaciones energéticamente eficaces.

Principales factores del diseño energéticamente eficiente

Podemos considerar que la principal fuente energética que influye en el equilibrio energético del edificio es la radiación solar. La radiación que incide sobre la *piel* del edificio es en parte reflejada de nuevo hacia el exterior, en parte transmitida hacia el interior a través de huecos y ventanas y, en parte, absorbida, contribuyendo de este modo al equilibrio energético del edificio. El análisis de la interacción radiación solar-edificio cobra especial importancia en diseños que incorporan elementos solares pasivos (invernaderos adosados, muros Trombe, etc.) o activos (captadores solares) y en diseños en los que el análisis de sombras es relevante.

Tanto la orientación del edificio como la distribución de los huecos en las fachadas son factores determinantes para la optimización de la captación de energía solar todo el año. Para ello, durante el invierno, el diseño arquitectónico deberá buscar obtener la máxima energía posible del entorno. Por el contrario, durante el período de verano, cuando se pretende que el foco caliente sea el edificio, se han de buscar focos fríos que permitan evacuar la energía desde el mismo, siendo los más habituales: el terreno a una profundidad determinada, el gradiente de humedad entre el ambiente exterior y el interior y el cielo nocturno.

Por ejemplo, en nuestra latitud, las ventanas abiertas al sur, donde se recibe radiación solar durante todos los días del año, deberán maximizar la captación de radiación solar en invierno de forma que esa ganancia reduzca la demanda en los sistemas de calefacción. Estas técnicas reciben el nombre de “técnicas naturales de calefacción”. Siguiendo el ejemplo de las ventanas, durante el verano deberá minimizarse la captación, un aumento de la carga que deben compensar los sistemas de climatización, recurriendo por ejemplo a sistemas elementales de protección solar (retranqueo, toldos, pérgolas, etcétera). Estas técnicas se denominan “técnicas naturales de refrigeración”.

Los huecos en las fachadas, además de actuar como elementos captadores de energía, son también una fuente de iluminación natural. Esta iluminación, aparte de su calidad y sus efectos beneficiosos sobre la psicología de los usuarios,



Figura 3. Edificio 70 del CIEMAT. PSE-ARFRISOL.

permite ahorros de energía importantes máxime cuando se recurre a sistemas de iluminación artificial capaces de modular para adaptarse a la luz natural que entra en los recintos.

Volviendo a la envolvente, el aislamiento correcto de las fachadas es un factor fundamental para alcanzar los objetivos indicados más arriba evitando, durante el invierno, la pérdida de energía desde el interior y las ganancias de energía desde el exterior, amortiguando las variaciones temporales de la temperatura interior. El aislamiento debe evitar, además, la entrada incontrolada de aire exterior (infiltraciones), que al encontrarse generalmente a una temperatura fuera de las bandas de confort suele convertirse en una nueva carga que combatir.

Además, a través de una adecuada distribución de los materiales con mayor inercia térmica (que es función del producto de la densidad por la capacidad calorífica del material), se puede almacenar la energía durante las horas en que existe mayor aporte, liberándola a las horas en que hay menor aporte energético exterior. Por ejemplo, un material con un desfase de 12 horas tendría su máxima captación en el mediodía solar y su máxima cesión al ambiente interior a las 12 de la medianoche. Esta estrategia se ve favorecida si está acompañada de una adecuada ventilación nocturna que evite que el almacenamiento de energía vaya incrementándose día a día y que acabe produciendo una situación de *discomfort* continua en el tiempo.

Dependiendo de las temperaturas interiores y exteriores, cuando estas se

encuentran más cerca de las condiciones de confort que aquellas, puede ser conveniente introducir de forma controlada, aire exterior que permita refrescar (*free cooling*) o calentar (*free heating*) gratuitamente los espacios interiores.

Para que este movimiento de aire se produzca de forma natural es importante considerar, al concebir el edificio, las corrientes preferentes de viento en la zona donde está inmerso el mismo, a partir de las cuales habrá que distribuir correctamente los huecos, tanto en las fachadas como en las particiones interiores, para permitir dicha circulación.

Entre las técnicas naturales de refrigeración se encuentran, por un lado, la ventilación y el sombreado, técnicas denominadas “preventivas” y cuya función es evitar los sobrecalentamientos. Y, por otro, estarían las técnicas “correctivas”, que consiguen una reducción efectiva de la temperatura interior del edificio, como son: los tubos enterrados, la refrigeración evaporativa y la refrigeración radiativa. Ambos tipos de medidas de refrigeración son totalmente compatibles entre ellos, y con los sistemas de captación solar y ventilación ya vistos, y es recomendable el uso simultáneo de varias de estas medidas a fin de optimizar la eficiencia del diseño.

En los siguientes puntos analizaremos en detalle algunas de estas técnicas.

Técnicas naturales de calefacción

Al buscar el aprovechamiento máximo de la energía solar, como elemento de calefacción natural, hay que tener en cuenta algunos conceptos ya citados en la introducción como: las ganancias sola-

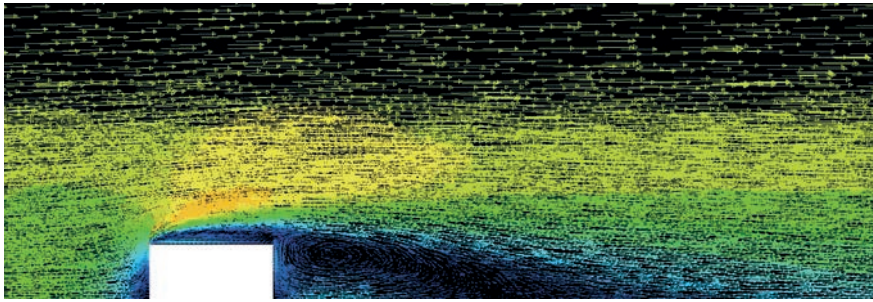


Figura 4. Incidencia del viento en un edificio. Simulación CFD (mecánica de fluidos computacional).

res, la inercia térmica, el aislamiento y, por supuesto, la orientación.

Orientación

La posición de máxima captación de energía solar es aquella que es perpendicular a la incidencia de los rayos solares el mayor tiempo posible, por lo que la orientación óptima de las ventanas, en nuestra latitud, sería la sur, sin olvidar que las protecciones solares deben diseñarse para no afectar la captación invernal y evitar la estival.

Si la orientación sur recibe durante todo el día la radiación solar, la norte por el contrario estará continuamente sombreada, debido a lo cual, las condiciones térmicas de esta zona serán más frías. Por tanto, deben evitarse en esta orientación grandes huecos, prestando especial atención a su correcto aislamiento térmico. A pesar de estos *inconvenientes*, no debe caerse en la tentación de diseñar fachadas huecas en esta orientación, ya que lo huecos en la misma resultarán fundamentales a la hora de "generar" corrientes naturales de aire dentro del edificio.

Las fachadas este y oeste reciben el sol por la mañana y por la tarde (dividiendo ambos periodos a partir del mediodía solar), respectivamente. Ambas fachadas son desfavorables en verano, ya que la captación es muy difícil de evitar a no ser que se empleen persianas corredizas (o similares) que obstruyan completamente la incidencia solar. La orientación oeste es especialmente desfavorable en verano ya que recibe radiación por la tarde, momento que suele coincidir con el de máxima temperatura exterior.

Asimismo, no debe olvidarse que, dependiendo de las direcciones preferentes de viento de cada zona, los huecos deben abrirse de forma adecuada para permitir las ventilaciones en verano y protegerse de los vientos fríos en invierno.

Inercia térmica

Como se adelantaba en la introducción de este artículo, una de las funciones de

las masas de inercia térmica consiste en almacenar el calor durante las horas de mayor producción para, posteriormente, con un cierto desfase temporal y con una cierta atenuación, reemitirlas al volumen que calefactar.

Las principales masas de inercia en un edificio están en los muros y suelos. Una adecuada distribución de estas combinada con un adecuado aislamiento y una estrategia de ventilación correcta es crucial para conseguir un edificio confortable.

En la figura 5 se representan, de forma simplificada, los mecanismos de transferencia de calor a través de un cerramiento, y cómo funciona la inercia térmica.

Veámoslo paso a paso. La radiación solar incidente sobre la superficie es en parte absorbida y, en parte, reflejada. La proporción depende del tipo de material y del color del muro. La energía absorbida se distribuye o bien hacia el interior del muro, por conducción, o bien hacia el exterior, mediante los fenómenos de radiación y convección. Parte de esa ener-

gía que es transferida hacia el interior a través del muro se emplea en aumentar la temperatura del propio muro, quedando almacenada en el mismo.

Cabe destacar que cuando la onda térmica (el incremento en la temperatura) llega de una cara a otra del muro se han producido dos fenómenos: una amortiguación de la cantidad de energía, debido a que parte de la misma se ha empleado en aumentar la temperatura del muro, y un desfase temporal del pico de la onda térmica, que llega a la cara opuesta con un cierto retardo temporal.

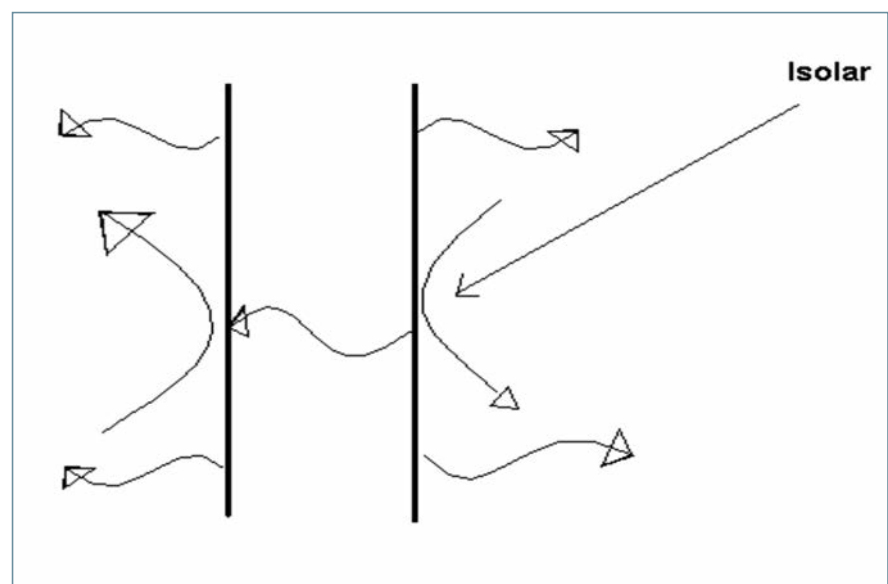
Eligiendo adecuadamente las características del muro (conductividad, densidad, capacidad calorífica y espesores de las distintas capas) podemos controlar el tiempo de desfase.

Ganancia solar

Se debe tanto al paso directo de la radiación solar al interior del edificio, a través de materiales traslúcidos o transparentes, como al calentamiento de elementos opacos que lo almacenan y transmiten hacia el interior. Según el caso distinguimos entre:

- *Ganancia directa*. Sería el primer caso, cuando no existe ningún elemento intermedio entre el Sol y el espacio que calefactar excepto el material traslúcido/transparente. Es el mecanismo más sencillo de captación solar ya que únicamente requiere de una adecuada orientación, una configuración correcta del hueco (inclinación respecto a la vertical y tipo de material utilizado).
- *Ganancia indirecta*. Sería el segundo caso, cuando se recurre a elementos que

Figura 5. Distribución de energía en un cerramiento.



almacenan y, posteriormente, distribuyen la energía solar que incide sobre ellos, a través de fenómenos de conducción y convección. Dentro de este grupo estarían a su vez los que recurren exclusivamente a un muro de alta inercia térmica, tras un vidrio que produce el efecto invernadero (favoreciendo la ganancia energética del muro), y los que combinan el almacenamiento con la convección, introduciendo el aire precalentado por la radiación solar en el espacio que queremos calentar.

El primer ejemplo, que aparece en la figura 6, corresponde a un muro Trombe, que recibe este nombre en honor del arquitecto que lo empleó por primera vez. Este elemento consiste en un muro de alta inercia, sin aislamiento y pintado con colores oscuros (para aumentar la absorción de radiación solar), delante del cual se coloca un vidrio con el fin de producir el efecto invernadero (parte derecha de la figura 6). La distancia entre el vidrio y el muro es pequeña, de manera que el volumen de aire que se va a calentar sea también pequeño y se alcancen temperaturas elevadas fácilmente. En las partes inferior y superior del muro existen unas aperturas practicables de modo que, bien por convección natural o forzada (mediante un ventilador controlado por un termostato), exista un paso de aire caliente desde el componente hacia el espacio habitado. A su vez, el aire que penetra en el espacio invernadero del muro Trombe está precalentado debido a que se toma de las condiciones interiores.

Técnicas naturales de refrigeración

La refrigeración pasiva persigue mantener las condiciones de confort en el edificio sin necesidad de recurrir a sistemas mecánicos de aire acondicionado.

Recordemos que la transferencia natural del calor se produce siempre desde el foco caliente al foco frío, y nunca a la inversa, a no ser que se incluya en el proceso una máquina térmica, por lo que es importante considerar los distintos agentes ambientales que favorecen la transferencia energética entre el edificio y el medio ambiente, como son: el cielo, la atmósfera y el terreno.

El principal objetivo de las técnicas naturales sería evitar que el espacio habitado se sobrecalentase por encima de las condiciones de confort (acción preventiva) a través de tres mecanismos: protección solar, ventilación y masa térmica.

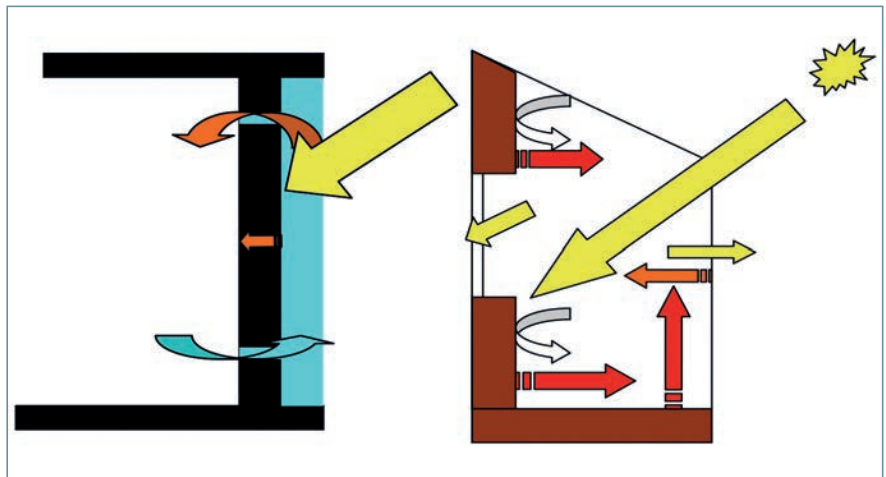


Figura 6. Esquema de muro Trombe y del efecto invernadero.

Protección solar

Al contrario de lo que ocurría en las técnicas naturales de calefacción, dado que lo que se persigue es mantener un ambiente fresco, debe procurarse que penetre la mínima cantidad de energía posible al recinto para evitar su sobrecalentamiento.

Para ello debe dotarse al edificio de elementos capaces de bloquear la radiación solar. Estos elementos, como cortinas, persianas, toldos, etcétera, pueden clasificarse, en primer término, en protecciones fijas y móviles. Mientras que las primeras suelen formar parte de la propia estructura del edificio, y el factor más importante que hay que tener en cuenta es que funcionen correctamente durante el invierno (que bloqueen únicamente cuando sea necesario), las segundas suelen contar con algún tipo de mecanismo que las reposiciona en función de las necesidades y las condiciones climáticas.

En ambos casos, y como norma general, las protecciones solares deben ser exteriores al vidrio de la ventana, dado que, si son interiores, la radiación llega a penetrar en el espacio que hay que controlar y no se evitan los sobrecalentamientos.

Como elemento de control solar, con un comportamiento dinámico-estacional, puede utilizarse vegetación de hoja caduca, situándola frente a los huecos vidriados. La protección solar mediante vegetación presenta una ventaja adicional, ya que las hojas poseen un mecanismo termorregulador que genera, dentro de una zona de efecto alrededor de ellos, un efecto atenuador en las oscilaciones de la temperatura frente a los cambios exteriores.

Ventilación

La ventilación de un edificio tiene por objeto asegurar la calidad del aire en el interior del mismo. Sin embargo, debido a que, generalmente, este aire de ventilación tiene una temperatura fuera de la banda de confort, al ventilar se introduce una nueva carga térmica que combatir.

Por otro lado, como comentábamos al hablar de la inercia térmica, la ventilación también permite evacuar del interior de los edificios parte de la energía almacenada, en las masas de inercia térmica, para evitar el sobrecalentamiento paulatino del edificio.

Dentro de las técnicas de refrigeración natural (véase la figura 7) podemos distinguir varios tipos: simple, cruzada, nocturna y por efecto chimenea:

- *Ventilación simple*. Es la técnica con que menor número de renovaciones de aire por hora se consiguen, debido a que la ventilación se provoca por diferencias de presiones a través de un único hueco.

- *Ventilación cruzada*. Se puede utilizar esta técnica cuando existen huecos en, al menos, dos fachadas con diferente orientación sin que haya obstrucciones interiores entre ambos huecos (o si existen que cuenten con huecos de paso, o rejillas, que permitan la circulación del aire.). Aunque con esta técnica se consigue un mayor número de renovaciones de aire por hora que en el caso anterior, este tipo de ventilación sin ningún tipo de control puede llegar a ser molesto debido a que la velocidad de viento en el interior del recinto puede ser elevada. Para un correcto diseño de los huecos, y la elección de las fachadas para practicarlos, es imprescindible conocer las

direcciones preferentes de viento en la zona, así como las posibles pantallas que van a afectar a la incidencia del viento sobre las mismas.

- *Ventilación nocturna.* Esta técnica busca aprovechar el descenso de temperaturas que generalmente ocurre durante la noche para evacuar la energía almacenada en las masas de inercia térmica en el edificio durante el verano.

- *Efecto chimenea.* Esta técnica consiste, básicamente, en aprovechar el tiro de aire que se provoca cuando existe un gradiente térmico considerable a diferentes alturas y orientaciones. Presenta una gran eficiencia en cuanto al número de renovaciones de aire que provoca. En la figura 7 se representa un edificio en sección, en cuya la parte superior hay una chimenea que está acristalada en su cara sur, por lo que tiene una importante ganancia solar. Debido a esta ganancia de energía el aire sufre un importante aumento de temperatura, lo cual se traduce en una disminución de la densidad y, por tanto, tiende a subir y escapar por las aperturas superiores.

También existen otros sistemas de ventilación natural “especiales” en los que el aire es pretratado térmicamente antes de ser introducido en los edificios. Tal es el caso de la ventilación a través de *conductos de aire enterrados*.

Esta técnica se aprovecha del gradiente térmico que existe en el terreno y que hace que, alrededor de los 14 metros de profundidad, la temperatura sea prácticamente constante a lo largo del año, e igual a la temperatura media anual de la zona estudiada. Durante los meses de verano, para profundidades iguales o inferiores a tres metros la temperatura del suelo puede estar en torno a los 22 °C, por lo que es aprovechable para producir efectos refrigerativos. Si, además, la parte del suelo en donde se va a aplicar la técnica está sombreada, la reducción de la temperatura a cuatro metros

es de otros 2 °C más. La eficiencia del sistema dependerá fundamentalmente:

- De la temperatura del suelo, que será inferior cuanto más profundos estén enterrados.
- Del diámetro de los tubos.
- De la longitud total del tubo a través del cual pasará el aire.
- Del caudal de aire que circula a través de los tubos (o lo que es lo mismo, para un diámetro dado la velocidad de circulación del fluido).

Para implementar esta técnica (este método de tratamiento térmico del aire de ventilación requiere de un exhaustivo control sanitario del aire, para evitar posibles contaminaciones del mismo) se entierran una serie de tubos de tal modo que a través de ellos circulará aire que, o bien, se toma del exterior y se introduce en el edificio (como aire de ventilación), o bien es tomado del interior del edificio haciéndolo pasar por los tubos antes de volver a introducirlo en el edificio a una temperatura inferior.

Sistemas radiantes

Esta técnica aprovecha el hecho de que la temperatura aparente del cielo, por la noche, es menor que la ambiente. Cuanto más despejada (sin nubes) y clara (con pocos contaminantes) sea la atmósfera, mayor será este efecto.

Maximizando las pérdidas por radiación, orientando el conjunto de tubos dispuesto en horizontal hacia la bóveda terrestre (y el norte, en nuestra latitud), es posible enfriar una corriente de fluido caloportador (generalmente agua) que circule por los mismos. No es una técnica completamente pasiva, sino que requiere de elementos mecánicos que hagan circular el agua por el circuito.

Está técnica presenta su máxima efectividad durante horas en las que, usualmente, el edificio no demanda refrigeración, es decir, durante la noche. Por ello, habitualmente es necesario almacenar la

energía para emplearla cuando el edificio lo requiera. Las dimensiones, tanto del sistema de radiadores como del almacenamiento, deben estudiarse conjuntamente, ya que la eficiencia del sistema es una combinación de ambos elementos.

Eficiencia energética debida al diseño y reducción de emisiones

Un ejemplo de aplicación de todas estas técnicas pasivas, así como de la metodología para la optimización del diseño, son los demostradores construidos dentro del proyecto PSE-ARFRISOL.

Para evaluar el ahorro de energía y la reducción en las emisiones de CO₂, se han simulado los edificios y se han comparado las demandas obtenidas con las del edificio de referencia, según los valores en el documento sectorial relativo a la edificación de la E4 (Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012).

De acuerdo con dicho documento, los valores de demanda obtenidos para edificios de oficinas en las zonas climáticas más semejantes a aquellas en las que se encuentran los C-DdI serían los que refleja la tabla 1.

La demanda reducida esperada para esos CDdI, se detalla en la tabla 2.

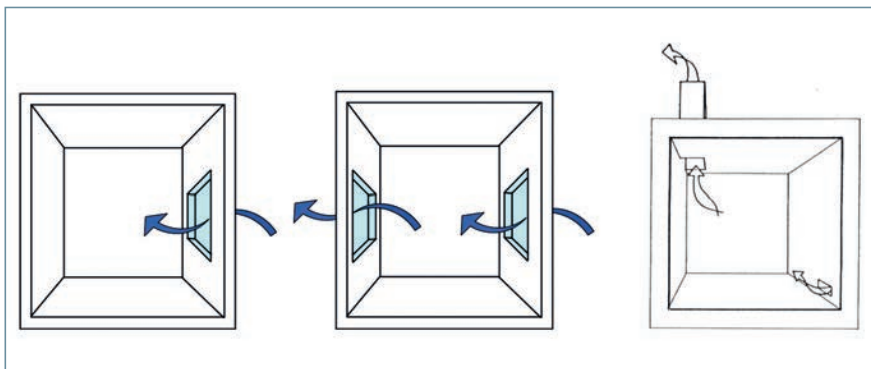
Esta evidente reducción en la demanda energética (en porcentaje) tiene su reflejo en una importante reducción en las emisiones de CO₂ (en kgCO₂/h.m²). Tomando por caso el C-DdI construido en Madrid (Ed70), donde la producción de electricidad proviene fundamentalmente de centrales eléctricas de ciclo combinado y donde la tasa de emisiones asignada es próxima a los 350 gCO₂/kWh, supone una reducción en las emisiones de 18,3 kgCO₂/m².h de uso.

Eficiencia energética e instalaciones

Una vez optimizado el diseño “pasivo” del edificio, y reducida la demanda lo máximo posible, todavía se producen oscilaciones en la temperatura interior que deben ser corregidas para mantener las condiciones de confort. Para ello, se recurre a estrategias “activas” que utilizan energías renovables como fuente primaria de energía para tratar el agua de calefacción/climatización, combinados con los elementos terminales adecuados, dejando el uso de energías convencionales como un último recurso para asegurar la habitabilidad del edificio.

Entre estas estrategias “activas” están los campos de captadores solares, que pueden ser utilizados tanto para la pro-

Figura 7. Tipos de técnicas de ventilación natural: simple, cruzada y nocturna.



		Calefacción	Refrigeración
Oficinas existentes	Sevilla	15,45	80,46
Demanda energía final (kWh/m ²)	Madrid	25,05	64,08
	Burgos	38,175	53,1

Tabla 1. Valores de demanda para edificios de oficinas.

Tabla 2. Demanda reducida esperada en edificios proyectados.

	Calefacción	Refrigeración
Ed70	8,33	35,23
PSA	13,40	23,04
Barredo	17,42	19,50
Ceder	33,21	13,14

ducción de agua caliente sanitaria (ACS) como para la producción de agua caliente de calefacción; las instalaciones de paneles solares fotovoltaicos, las máquinas de absorción de baja temperatura para la producción de agua enfriada, los sistemas de intercambio energético con el terreno (agua-agua o aire-aire) y los sistemas de enfriamiento radiocóncito.

En cuanto al propio diseño de la instalación, es importante tener en cuenta una serie de puntos:

- **Sectorización.** Tanto por usos, como por orientación y/o alturas. Esto resulta especialmente complejo en los sistemas de climatización por aire al requerir, generalmente, más espacio para la red de conductos. La sectorización por usos debería ser un requisito mínimo en cualquier instalación que aspire a la máxima eficiencia, de forma sea posible “desconectar” aquellos sistemas que no sean críticos, sin dejar sin servicio a los que sí lo son. Evitar la circulación de fluido caloportador, tanto si es agua como si es aire, hacia las zonas sin uso evitará, además del consumo de energía necesario para tratar esas zonas, las pérdidas de temperatura en el propio fluido al recorrer la red hasta los puntos de consumo.

- **Recurrir a sistemas de baja temperatura.** Uno de los principales problemas de las energías renovables, basadas en fenómenos atmosféricos, es su dependencia de factores ambientales. Cuando “menor” sea la temperatura (más baja en calefacción y más alta en refrigeración) mayor será el número de horas que podrá alcanzarse en ese nivel con las fuentes renovables, aumentando el grado de cobertura.

- **Modularidad,** entendida como capacidad de regulación para adaptar el aporte de energía a la demanda real del edificio, en cada instante, y de los sistemas de generación tanto a las fluctuaciones de la demanda cambiante como del aporte de los sistemas renovables. En resumen, se trata de enviar a los puntos de consumo únicamente la cantidad de fluido necesario y demandado, previamente tratado con energía proveniente de fuentes renovables y complementado con las fuentes “convencionales”, para asegurar las condiciones de consigna.

Por último, es fundamental contar con un sistema de gestión técnica lo suficientemente flexible y potente para poder realizar una gestión adecuada de todos estos sistemas, coordinándolos de forma eficaz, y que permita ir adaptando el funcionamiento de la instalación al uso real de la misma.

Integración de los sistemas renovables en los esquemas de producción

A lo hora de integrar sistemas renovables deben tenerse muy presentes las temperaturas de trabajo, no solo de los circuitos de producción sino también de los de consumo. En ocasiones, es más interesante cubrir, de forma más o menos razonable, una parte de la demanda asociada a sistemas que trabajan con temperaturas más suaves (inductores, baterías de precalentamiento o suelo radiante) que entrar en los circuitos de producción de gran potencia donde el aporte, además de no ser importante, supone una inversión y una complicación en la operación.

La conexión entre los sistemas renovables y convencionales puede hacerse de dos formas (véase la figura 8): la primera, conectando los sistemas de producción “renovables” en paralelo a los sistemas “convencionales”, y la segunda, conectándolos en serie, situando siempre primero el sistema renovable.

La primera opción, que supone la conexión en paralelo de los sistemas, tiene las ventajas de, por un lado, permitir el mantenimiento de cada uno de los sistemas por separado sin tener que

detener la instalación y, por otro, de compartir una temperatura de retorno baja lo que permite mantener los sistemas convencionales en un punto de trabajo más próximo al óptimo.

Por el contrario, la coordinación entre ambos sistemas es más compleja, ya que requiere, por un lado, una temporización del arranque del sistema convencional sobre el solar y, por otro, un seguimiento muy exacto de la producción renovable para ir adaptando la producción convencional a estos cambios. En los casos en los que la producción renovable no alcance la consigna, los sistemas convencionales se ven obligados a trabajar por encima de la consigna para mantener las condiciones de temperatura en el colector de impulsión hacia los circuitos de consumo. Además, esta configuración hace necesario utilizar un grupo de bombas para cada sistema, lo que supone un incremento en la inversión inicial y en los trabajos de mantenimiento.

La otra opción, con la conexión en serie de los sistemas, permite aumentar el número de horas de aprovechamiento de la energía solar, ya que no requiere que el circuito solar alcance las consignas de temperatura de impulsión de los circuitos de consumo, sino que únicamente supere la temperatura del fluido de retorno. Otras ventajas de esta configuración son: el control de la instalación se simplifica, ya que el aporte de la producción renovable es medible de forma instantánea y permite así ajustar la producción convencional, y puede aprovecharse un único grupo de circulación para ambos sistemas.

Por contra, esta opción supone, por un lado, una mayor complejidad en la ejecución de la instalación, siendo necesario intercalar elementos de bypass en cada uno de los sistemas para poder realizar su mantenimiento, y, por otro, que a medida que los sistemas renovables se acerquen a las consignas, la potencia que debe aportarse desde los sistemas convencionales sea cada vez menor, haciendo que los equipos trabajen lejos del punto óptimo de funcionamiento y, por tanto, con bajo rendimiento.

Existe una tercera configuración, que sería una combinación de las dos anteriores, en la que el sistema funcionaría en serie, cuando la producción renovable fuese baja y no estuviese lo suficientemente lejos de las consignas para que el rendimiento de los equipos convencionales fuese aceptable y, en paralelo, cuando la producción renovable se aproximase a la consigna o fuese muy alta.

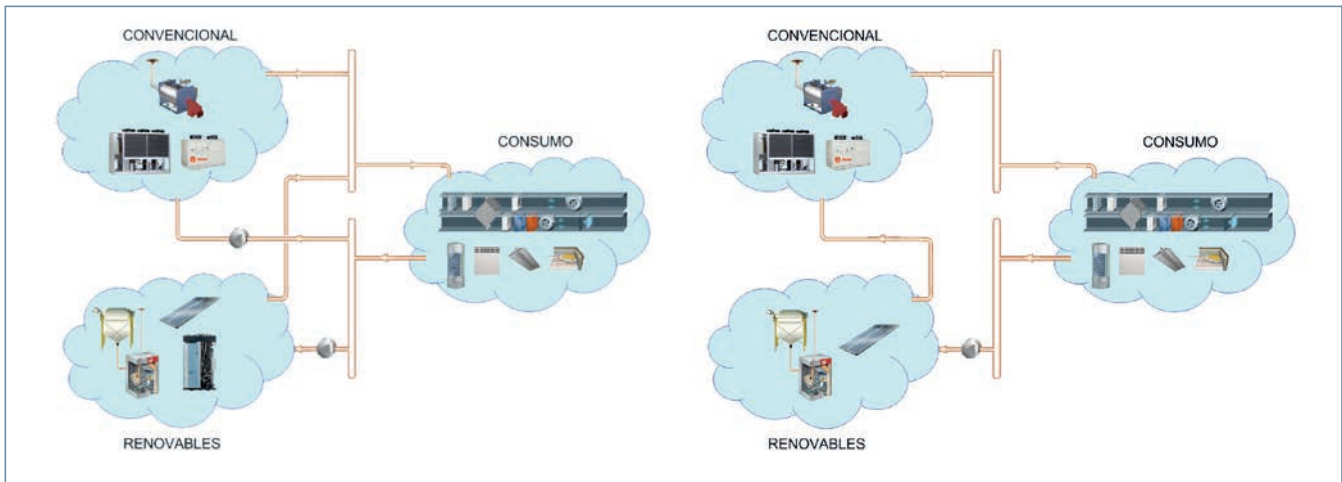


Figura 8. Esquemas de conexión entre los sistemas renovables y convencionales.

Tomando como ejemplo los contenedores-demostradores de investigación del PSE-ARFRISOL (C-DdI), a continuación veremos cómo se han implementado las estrategias activas descritas más arriba, y algunas maneras de integrar estas fuentes de energía renovables en instalaciones de climatización de edificios del sector terciario. Existen cinco de estos C-DdI situados:

- Edificio CIESOL, Universidad de Almería (SP2).
- Edificio 70, del CIEMAT en Madrid (SP3).
- Edificio de la Plataforma Solar de Almería (SP4).
- Edificio de la Fundación Barredo, en Asturias (SP5).
- Edificio de recepción del CEDER-CIEMAT, en Soria (SP6).

Uso de energía solar para ACS

En todos los C-DdI se ha buscado el máximo aprovechamiento del agua caliente generada en los campos solares cubriendo tanto las demandas de ACS como, en la medida de lo posible, de calefacción. La forma en que se ha llevado a cabo esta integración ha variado en función de cada instalación.

En el caso del SP3 (figura 9) el calor “renovable” proviene de un campo de captadores solares planos situados sobre una pérgola metálica en la cubierta. Estos captadores solares están conectados en series de dos grupos de tres captadores en paralelo, buscando una temperatura de salida del campo de captación elevada durante todo el año. Los servicios a los que se suministra esta agua caliente se priorizan en función de su temperatura de trabajo, de menor a mayor temperatura, siendo el orden de prioridad: la producción de ACS (55-60 °C), circuito de

calefacción (60-80 °C) y, por último, las máquinas de absorción de baja temperatura (> 75 °C).

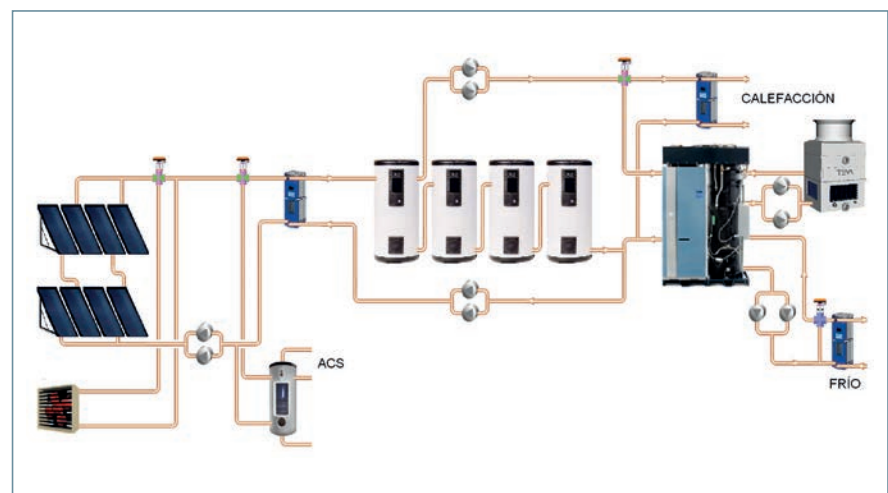
La demanda de ACS engloba tanto el precalentamiento del agua fría de reposición de la red, como las pérdidas de acumulación y recirculación de la red de ACS. La instalación solar se conecta a un interacumulador por donde entra el agua de reposición de la red (ramal inferior del interacumulador), de forma que toda el agua fría que entra en la instalación es precalentada en este elemento. Mientras no funcionan las bombas de circulación de ACS, el agua precalentada sale por la parte superior. Cuando estas bombas están en marcha, la propia circulación del fluido hace que este se enfríe poco a poco. El sistema de control compara continuamente la temperatura de retorno de la red de ACS con la temperatura del depósito, conectando la red de retorno al interacumulador y tomando agua caliente de este depósito (con una con-

signa ligeramente superior a la de los depósitos de acumulación y la red de recirculación), de forma que suplen estas pérdidas.

Un punto mejorable de esta configuración está en el circuito primario en el que, debido al uso de la válvula de tres vías, no es posible cubrir la demanda de ACS y enviar agua caliente al circuito secundario de forma simultánea. Para hacer posible esto se puede recurrir a un sistema de interconexión similar al implementado en el SP6 y que puede verse en la figura 10.

En esta instalación la válvula de tres vías se sustituye por una válvula de solo dos que corta el aporte de agua caliente al interacumulador de ACS. El aporte al circuito de calefacción se controla a través de la maniobra de la bomba situada en el circuito secundario y que conecta la instalación solar a un gran depósito de acumulación. Ambos puntos de consumo están conectados en paralelo de forma

Figura 9. Producción y distribución de agua caliente solar (SP3).



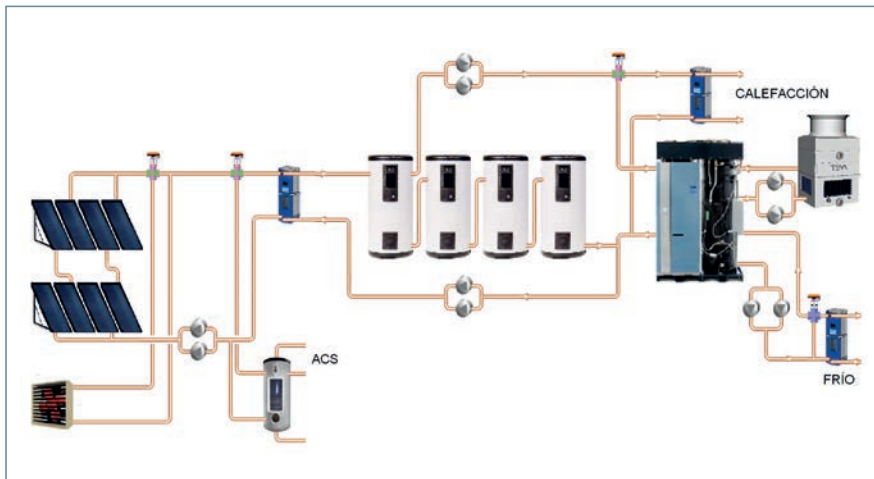


Figura 10. Producción y distribución de agua caliente solar (SP6).

que es posible suministrar agua caliente a la máxima temperatura de salida del campo de captadores a ambos.

El interacumulador está conectado a la instalación de ACS mediante una pequeña bomba de circulación. El sistema de control compara continuamente la temperatura en ambos depósitos. Cuando la temperatura del depósito solar es superior (dentro del horario de ocupación del edificio) se arranca la bomba, igualando la temperatura en ambos depósitos. De esta forma no solo se consigue precalentar el agua fría de reposición de la red, sino que también que cubren las pérdidas de calor, debidas a la acumulación de agua caliente en el depósito de ACS, y las pérdidas de recirculación al mismo tiempo que se aporta calor al circuito secundario, desde donde se cubren las demandas de calefacción y refrigeración.

En el caso del SP5 (figura 11), toda la producción solar se lleva a un depósito de acumulación desde donde se aporta

calor a un anillo que, a su vez, alimenta todos los puntos de consumo en el edificio: ACS, calefacción y producción de frío solar. Esta solución resulta muy adecuada para instalaciones existentes ya que solo requiere una conexión con el sistema centralizado de producción y permite cubrir, al igual que pasaba en el SP6, varias demandas al mismo tiempo.

Pero también existe la posibilidad de aprovechar todo el salto de temperatura del campo solar para cubrir la demanda de varios puntos de consumo al mismo tiempo. En la figura 12 se puede observar un esquema del circuito primario del SP4. En esta instalación, todos los puntos de consumo se encuentran conectados al circuito primario solar, ordenados de mayor a menor demanda de temperatura, de tal forma que la salida de uno de los puntos de consumo puede utilizarse como entrada del siguiente.

Esta configuración permite, por ejemplo, hacer funcionar una instalación a dos

tubos como una instalación a cuatro tubos ya que mientras la producción convencional produce agua fría para los inductores, el aporte solar puede calentar el circuito de suelo radiante.

Uso de energía solar para calefacción y refrigeración

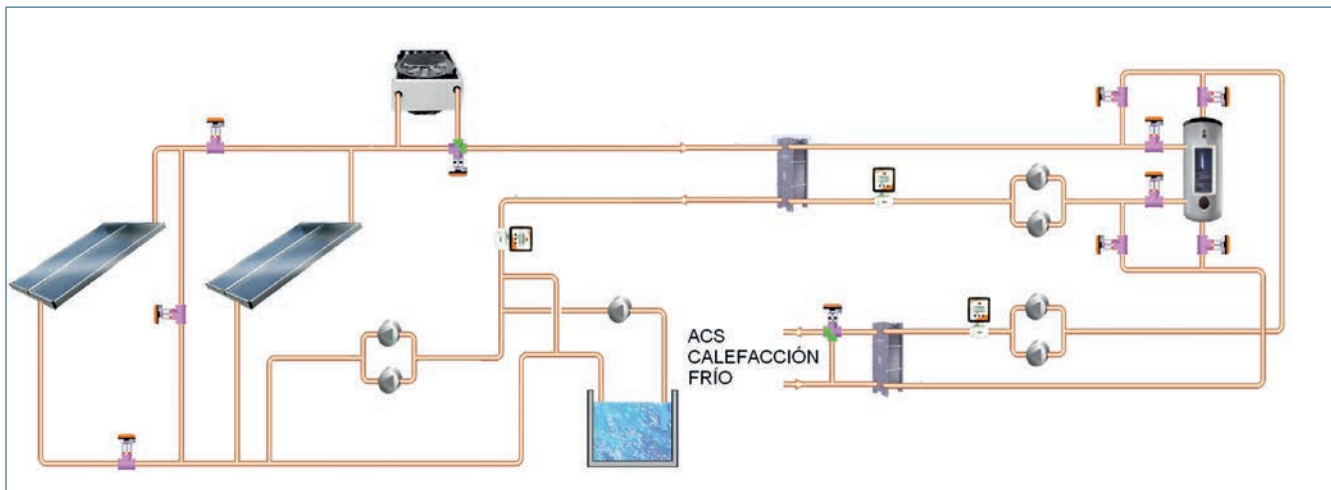
Una vez cubierta la demanda de ACS, el agua caliente se envía hacia el resto de puntos de consumo de la instalación, para cubrir las demandas de calefacción, aporte directo de calor, y/o refrigeración, a través de las máquinas de absorción de baja temperatura.

La forma en que se conecta este aporte de energía renovable en cada instalación varía de una a otra, aunque todas tienen algo en común: la conexión de la instalación renovable se hace siempre en circuito de retorno, de forma que se aprovecha al máximo la producción de energía renovable, pues el nivel térmico es más fácilmente alcanzable.

Esta interconexión puede hacerse en un único punto, como en las instalaciones de los SP4, SP5 y SP6, o en varios como en el SP3. En la figura 13 se puede observar el esquema de principio correspondiente a la instalación del SP3 antes y después de la incorporación de la central de producción de agua caliente/ fría renovable. La conexión tanto con el circuito de calefacción, como con el de refrigeración, se hace en uno de los ramales de retorno.

El sistema de control ajusta la temperatura de salida del intercambiador instalado en el punto de conexión de tal forma que desde el aporte renovable se busca elevar la temperatura del colector de retorno hasta las condiciones de impulsión, evitando de este modo el arranque de las calderas.

Figura 11. Producción y distribución de agua caliente solar (SP5).



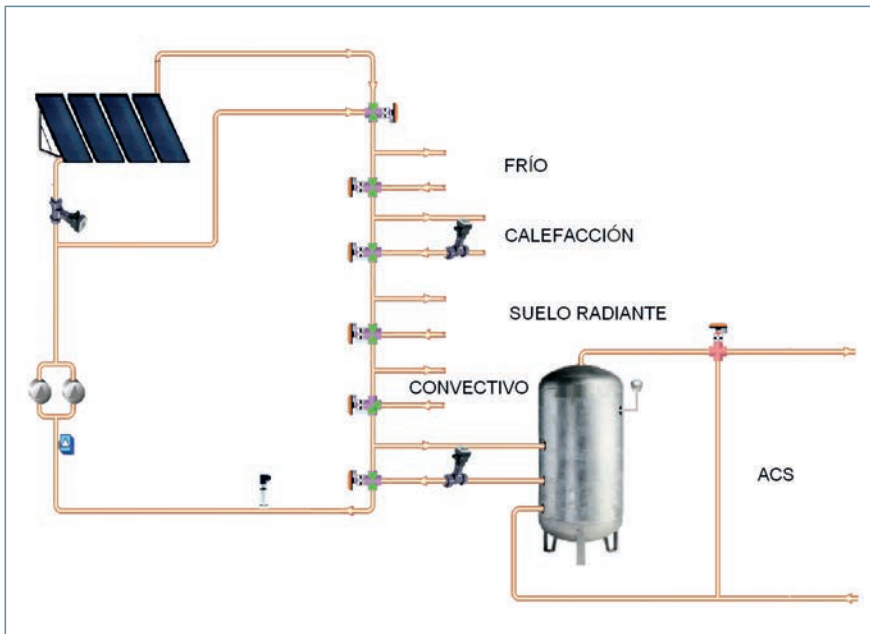


Figura 12. Producción y distribución de agua caliente solar (SP64).

El único inconveniente de esta configuración es que es necesario que el grupo de circulación de la rama correspondiente a la conexión con la instalación solar esté activo. Aunque en la práctica esto ocurre siempre, el diseño se mejorará realizando la conexión de este aporte entre el colector de retorno actual y un nuevo colector de retorno, aguas arriba de este, de forma que al activarse el grupo de bombeo de cualquiera de las ramas se asegure la circulación por el intercambiador con el aporte solar.

También conviene destacar, en cuanto

al agua fría “renovable” producida en las máquinas de absorción de baja temperatura, que esta se utiliza únicamente en el circuito de distribución a los inductores de la planta baja. Estos equipos requieren unas condiciones de temperatura menos exigentes que las climatizadoras (18 °C frente a 7 °C en impulsión), lo que permite prolongar la utilización de la energía almacenada en las máquinas de absorción. En serie al aporte desde las máquinas de absorción, al igual que ocurre en el caso de la calefacción, existe una conexión a la producción de agua

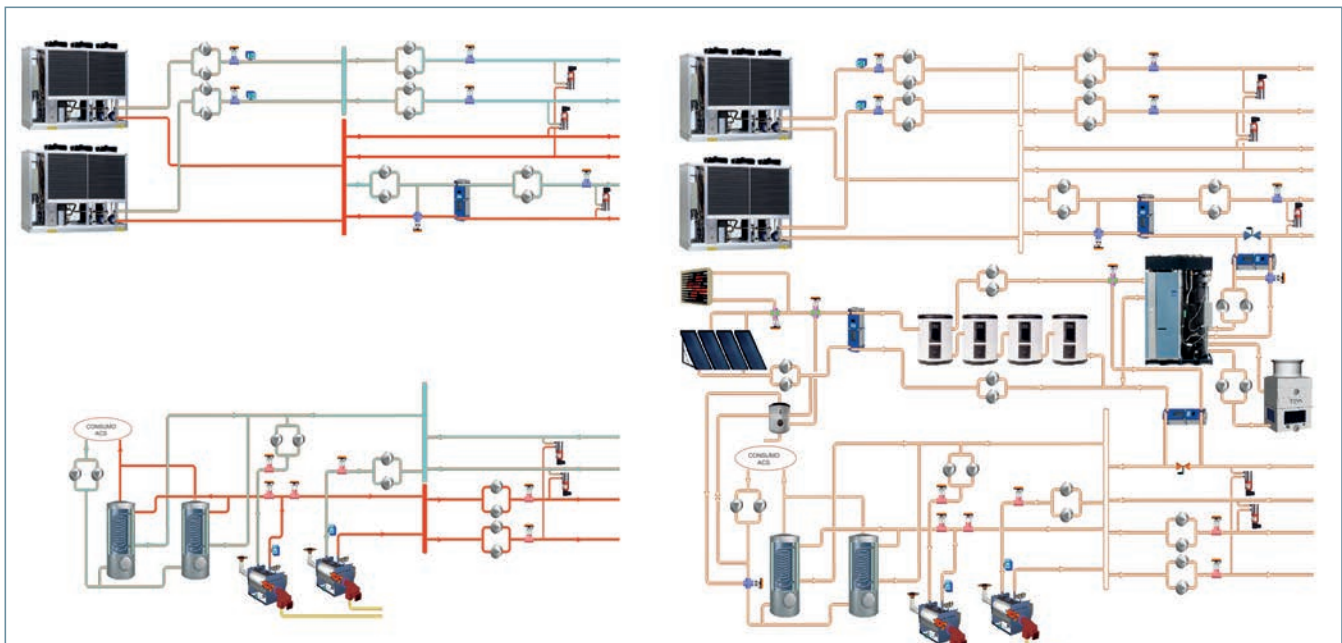
fría “convencional” que asegura que en todo momento se consiguen las condiciones de impulsión necesarias. Este es un ejemplo de que una cobertura selectiva de la demanda permite cubrir completamente las necesidades de una parte de la instalación.

En las instalaciones a dos tubos (SP4), o instalaciones en las que existe un anillo de distribución de calor (SP5 y SP6), la conexión se ha realizado en un único punto. En este anillo confluyen: primero el calor producido por la instalación solar, y después la instalación convencional.

Por ejemplo, en el caso del SP4 (figura 15), el anillo es reversible, es decir, se utiliza tanto para frío como para calor. El sistema de control monitoriza en todo momento la demanda global del edificio decidiendo en función de ella el modo de funcionamiento de la instalación. Cuando la instalación se encuentra en modo “calor”, el agua caliente de los captadores llega directamente del circuito primario solar hasta el intercambiador, calentando el agua de retorno antes de su entrada en las bombas de calor que forman el sistema de apoyo convencional.

Por el contrario, cuando el anillo se encuentra en modo “frío”, lo que se conecta a este intercambiador son las máquinas de absorción alimentadas con el agua caliente del campo solar. Tal como se comentaba en la sección anterior, es posible inyectar agua caliente en el suelo radiante directamente desde el circuito primario solar haciendo, de este modo,

Figura 13. Interconexión de la producción renovable y convencional (SP3).



que una instalación a dos tubos funcione como una instalación a cuatro tubos (calefacción a través del suelo radiante y refrigeración a través de los inductores).

La conexión directa del suelo radiante al circuito primario solar tiene otras ventajas, ya que permite evacuar el exceso de calor acumulado en el suelo de edificio, por ejemplo durante las noches de verano, al enfriar el agua del circuito del suelo radiante conectándolo al circuito primario solar y este, a su vez, a los paneles radioconvectivos instalados en la cubierta. Esta técnica se acompaña, en este caso, de una ventilación natural cruzada, forzada mediante chimeneas solares situadas en el techo de las oficinas de la zona sur, que se “cargan”, acumulando calor durante el día en un muro, para favorecer el tiro durante la noche evitando, de esta forma, recurrir a la ventilación mecánica.

En el caso del SP5 y el SP6, la producción, tanto de calor como de frío, es enteramente renovable ya que ambos C-DdI cuentan con calderas de biomasa como sistemas de apoyo.

En ambos nos encontramos con el problema de modulación en las calderas de biomasa ya que estos elementos presentan una gran inercia térmica, debido a que el combustible continúa ardiendo a pesar de haber cortado el suministro del mismo, lo que dificulta el ajuste de la producción en la caldera a la producción solar situada aguas arriba y que puede derivar en sobrecalentamientos no deseados en la instalación.

Para resolver este problema se ha recurrido a depósitos de inercia de gran volumen instalados entre la caldera de biomasa y el anillo, en el caso del SP5, y

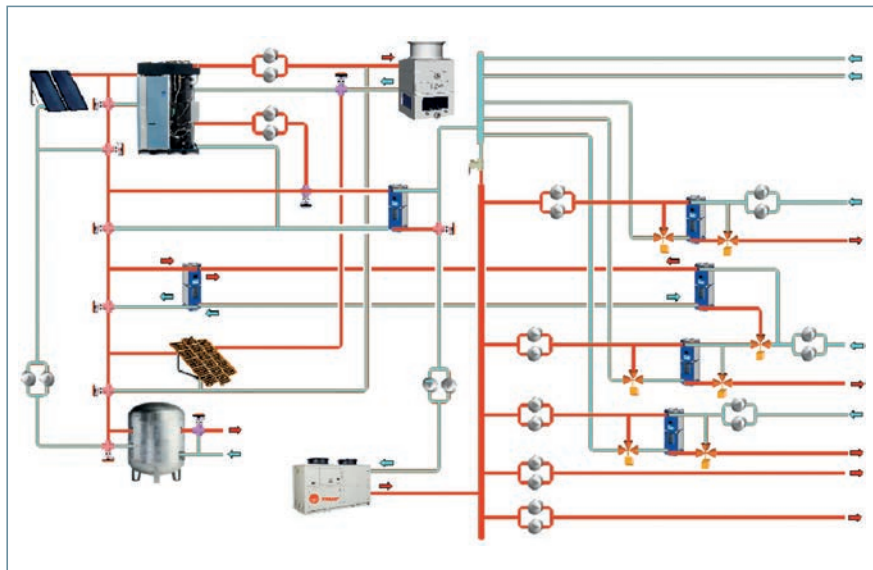


Figura 14. Interconexión de la producción renovable y convencional (SP4).

directamente en el anillo en el caso del SP6. La diferencia entre ambas opciones está en la operación, mientras que en el primer caso la consigna de la caldera es mantener la temperatura en el depósito dentro de unos márgenes (la extracción de calor se hace mediante otro grupo hidráulico y una válvula de tres vías), en el segundo el depósito se carga desde la parte solar hasta que supera el nivel térmico de la caldera. En ese momento se conecta el anillo al depósito, que puede seguir recibiendo calor desde el circuito solar, conectando las calderas a las máquinas de absorción para cargarlas aprovechando el calor liberado durante el apagado de las mismas.

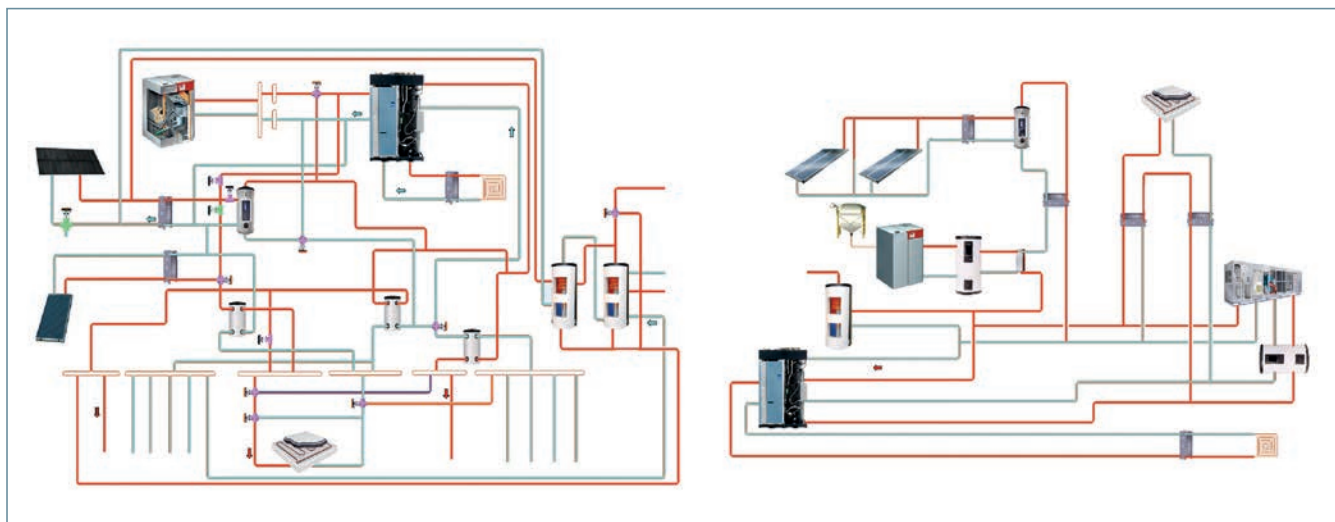
En la figura 15 pueden observarse los esquemas de principio correspondientes a estas dos instalaciones.

Otras medidas de ahorro implementadas

Tal como se comentaba en la introducción existen una serie de estrategias que pueden ser adoptadas para mejorar la eficiencia de la instalación y permitir una integración adecuada de las renovables en los esquemas de principio. A continuación se describirá brevemente cómo se han implementado en los C-DdI estas técnicas:

- **Sectorización.** La sectorización en los C-DdI se ha realizado, básicamente, en función de la orientación y/o la altura, ya que en general no hay grandes diferencias de uso en los distintos espacios dentro de los mismos. Así, por ejemplo, en los C-DdI de los subproyectos SP5 y SP6 el suelo radiante se sectoriza por plantas (en ambos casos la planta supe-

Figura 15. Interconexión de la producción renovable y convencional (SP6 y SP5).



rior tiene una ocupación permanente, mientras que en la inferior la ocupación es eventual).

En el C-DdI correspondiente al SP4, un edificio prismático de una planta que se desarrolla a lo largo del eje este-oeste, la división se ha realizado dividiendo el edificio en dos mitades según su eje norte-sur.

El C-DdI del SP3 es el contenedor con un uso más intensivo, ya que está destinado al grupo de investigación en biomedicina que requiere que las instalaciones de climatización estén disponibles, en los laboratorios y almacenes, las 24 horas los 365 días del año. La sectorización en este caso sí se ha hecho por usos, agrupando los laboratorios en un circuito y quedando las instalaciones auxiliares y las oficinas en otro circuito independiente.

- **Elementos terminales. Sistemas de baja temperatura.** En todos los C-DdI se ha recurrido, en todas aquellas zonas sin requerimientos térmicos especiales (como laboratorios), a elementos terminales que trabajan a baja temperatura. Principalmente, suelo radiante/refrescante e inductores (a dos y cuatro tubos).

- **Modularidad.** Para conseguir una modularidad máxima en el sistema se ha recurrido a bombas de circulación dotadas de variadores de frecuencia. En las UTA se han utilizado también estos elementos, como en el caso del SP3, o se han recurrido a ventiladores de varias velocidades, como en el caso del SP6.

También se ha seleccionado grupos generadores modulables, por ejemplo dotando a las calderas de gas natural de quemadores dotados de motores paso a paso (SP3) o utilizando grandes depósitos de inercia calentados con calderas de biomasa (SP5 o SP6), o energía solar (SP5), que evitan que dichos elementos estén arrancando y parando continuamente.

Conclusiones

En este texto se ha pretendido exponer una visión global de la necesidad de aplicar los conceptos de eficiencia energética a los edificios desde la primera fase del diseño del mismo, e incluso anteriormente, desde la planificación urbanística del entorno. Pensando en nuestro entorno urbano de esta forma, se puede contribuir significativamente al ahorro de energía, sin reducir el confort térmico y, a la vez, disminuir la degradación del medio ambiente al que contribuyen, en distinta medida, las energías convencionales.

En definitiva, debería adoptarse la postura de considerar el edificio como un sistema termodinámico abierto, es decir, como un ente único, no un conglomerado de soluciones arquitectónicas y de instalaciones, y, por tanto, el diseño del edificio debe incluir tanto las técnicas de arquitectura bioclimática como integrar los sistemas solares activos y pasivos, buscando soluciones económicamente factibles y que permitan procesos de montaje sencillo y un mantenimiento simple y económico.

Todas estas actuaciones deben aplicarse desde un conocimiento profundo de los fenómenos físicos que implican de forma que pueda estudiarse en la fase de diseño mediante modelos teóricos la repercusión energética que cada una de ellas tendrá sobre el resultado final del edificio. Posteriormente, la monitorización en condiciones reales de uso nos suministrará los datos necesarios para la validación de las acciones emprendidas y optimizar las futuras.

Bibliografía

- Baruch Givoni (1976). *Man Climate and Architecture*. Applied Science Publishers, Ltd. Londres.
- Duffie JA & Beckman WA (1980). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & sons, New York.
- Fanger POL (1970). *Thermal Comfort Analysis and applications in environmental engineering*. MacGraw Hill N.Y.
- Ferrer JA et al (2008). *Os edifícios Bioclimáticos a integração das Energias Renováveis e os Sistemas Energéticos*. Editores: Helder Gonçalves y Susana Camel. Lisboa. ISBN: 978-972-676-210-2.
- Gueymard C (1987). *An isotropic solar irradiance model for tilted surfaces and its comparison with selected engineering algorithms*. Solar Energy 38, págs. 367-386.
- Hay JE & McKay DC (1985). *Estimating solar irradiance on inclined surfaces: A review and assessment of methodologies*. Solar Energy 3, págs. 203-240.
- Heras MR, Ferrer JA, Pérez JJ, San Juan C, Soutullo S, Heras J (2009). *Investigación, Desarrollo y Control de los cinco prototipos del PSE-Arfrisol*. *Climanoticias*. 162 pág. 46/57.
- IQBAL M (1983). *Introduction to solar radiation*. Academic Press, Toronto.
- Lefebvre DG (1994). *Fundamentos sobre clima y arquitectura: II Transferencia energética*. Curso energía solar en la edificación. IER-CIEMAT.
- Marco J y Heras MR (1992). *Experiencia española en la evaluación energética de edificios solares pasivos*. Revista *Montajes e Instalaciones*. págs. 105-114.
- Olgay V (1998). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Pérez JJ, Bravo D, Bosqued A, Ferrer JA, Heras MR (2010). *Estrategias de integración de las energías renovables en las instalaciones de climatización de los C-DdI del PSE-ARFRISOL*. Libro de ponencias, *Arquitectura Bioclimática y Frio Solar*. ISBN: 978-84-693-5141-3. Almería.
- Pérez JJ, Bravo D, Bosqued A, Ferrer JA, Heras MR (2009). *Sistema de Gestión Técnica Centralizada ARFRISOL-SP3 CIEMAT (Moncloa)*. Documento 7: *Memoria de funcionamiento y control de instalaciones activas y estrategias pasivas*. CIEMAT.

Pérez JJ (2009). *Sistema de Gestión Técnica Centralizada ARFRISOL-SP6 CEDER (Soria)*. Documento 10: *Memoria de funcionamiento y control de instalaciones activas y estrategias pasivas*. PSE-ARFRISOL SP6. CIEMAT.

Pérez JJ, Bravo D, Bosqued A, Ferrer JA, Heras MR (2009). *Sistema de Gestión Técnica Centralizada ARFRISOL-SP5 FUNDACIÓN BARREDO (San Pedro de Anes)*. Documento 7: *Memoria de funcionamiento y Control de Instalaciones Activas y Estrategias Pasivas*. CIEMAT.

Pérez JJ, Bravo D, Bosqued A, Ferrer JA, Heras MR (2010). *Sistema de Gestión Técnica Centralizada ARFRISOL-SP4 PSA (Almería)*. Documento 16: *Memoria de funcionamiento y estrategias pasivas*. CIEMAT.

Serra R (1989). *Clima, lugar y arquitectura. Manual de diseño bioclimático*. Ediciones CIEMAT. Madrid.

Müller T, Wagner W, Köhl M, Orel B, Höfler K. *Colour-face-Coloured Facades for Solar Heating System and Building Insulation*.

Internet

- <<http://www.codigotecnico.org/>>. Página web del Código Técnico para la Edificación.
- <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. Página web del US Department of Energy.
- <<http://www.ibpsa.org/>>. Página web del International Building Performance Simulation Association (IBPSA).
- <<http://www.idae.es/>>. Página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE).
- <<http://www.arfrisol.es/>>. Página web del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frio Solar ARFRISOL.
- <<http://www.ciemat.es/>>. Página web del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Julio José Pérez Díez

jj.perez@ciemat.es

Investigador. Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

José Antonio Ferrer Tevar

ja.ferrer@ciemat.es

Jefe de grupo. Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación, CIEMAT.

M^a del Rosario Heras Celemin

mrosario.heras@ciemat.es

Jefa de unidad. Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación, del CIEMAT
