

# La regeneración térmica del suelo utilizado para intercambio geotérmico en climatización mediante su uso como disipador térmico solar

**M. Arroba y R. Segovia;** *i.e. Universidad – i.e. School of Architecture, Segovia (España)*

El uso de la tierra como elemento de intercambio térmico para climatización es muy eficiente en climas intermedios en que aproximadamente la mitad del año se esté usando el serpentín geotérmico como evaporador y la otra mitad del año como condensador, de modo que la temperatura de dicho suelo se compense a lo largo del tiempo de funcionamiento. Sin embargo, presenta un problema en determinados climas extremos en que se necesita mayor energía anual para refrigeración que para calefacción o viceversa. En estos casos, el suelo soportará anualmente mayor calentamiento que enfriamiento en el primero de los casos y mayor enfriamiento que calentamiento en el segundo. Para esta última circunstancia, una opción energéticamente muy ventajosa es incrementar la captación solar para su utilización en la producción de agua caliente sanitaria –pudiendo llegar a factores solares del 100%– y disipar el exceso de calor captado en verano en el serpentín geotérmico. De esta forma podríamos incrementar la utilización de la energía solar hasta el máximo y, simultáneamente, compensar el mayor enfriamiento producido en el suelo por el equipo geotérmico de calefacción.

La coyuntura energética actual hace prácticamente obligatoria la incorporación en la edificación de sistemas de producción térmica basados en la utilización de energías renovables, dado que, sin ninguna duda, los combustibles fósiles van agotando sus reservas a mayor o menor velocidad, lo cual hace previsible incrementos continuados de sus precios y consecuente escasez en la disponibilidad de los mismos.

El sector de la construcción residencial tiene un peso significativo en el consumo energético global –en datos del año 2004 el 16,8%, según el Boletín nº 8, de octubre de 2006, del IDAE–. Por

ello, las normativas correspondientes han recogido medidas encaminadas a atenuar el uso de fuentes energéticas fósiles.

En el sector residencial, claramente diferenciado por su tratamiento en el Código Técnico de la Edificación del resto de usos, se hace una apuesta en pro de la energía solar térmica, primando ésta por encima de las demás fuentes de energía renovables, en un intento loable de optimizar recursos, pero no tomando en consideración, salvo como decisión optativa del técnico proyectista, el resto de opciones energéticas renovables, igualmente válidas y en muchos casos más idóneas y fáciles de

incorporar en los edificios por motivos estéticos, morfológicos, climatológicos, etc.

Quizá por ello y salvo raras excepciones, al diseñar los edificios, tanto los arquitectos como los ingenieros que colaboran con ellos suelen casi siempre limitarse a la previsión de este aporte solar – mínimo desde el punto de vista legal– para la producción de ACS, mientras el resto de fuentes consideradas como renovables va abriéndose camino mucho más lentamente por medio de especialistas, que en muchos casos tienen que afrontar el absoluto desconocimiento por parte de la Administración a la hora de aceptar estas soluciones.

Adicionalmente, encontramos que la producción de agua caliente sanitaria solar presenta el inconveniente de no poder alcanzar valores del 100% anual debido a la diferente radiación y número de horas de sol que se presentan a lo largo del año, puesto que intentar llegar a la producción total ocasionaría que para conseguir esa producción total en diciembre, la instalación estaría excesivamente sobredimensionada en verano, coincidiendo, además, con la temporada general de vacaciones de la población española, con lo que el exceso de producción es aún más elevado.

En régimen estacionario, es decir, cuando la instalación no se está usando, la temperatura del fluido caloportador en los colectores se eleva hasta extremos peligrosos, llegando frecuentemente a evaporarse la totalidad o parte de dicho fluido caloportador, ocasionando en ocasiones su degradación y minorando la vida útil de la mayor parte de las piezas de la instalación.

El exceso de calor captado en verano si se optara por una generación solar de agua caliente sanitaria del 100% se debería disipar en lo que se denomina “sumideros térmicos”. A este

respecto, es imprescindible conocer la potencia de producción de vapor del circuito primario para dimensionar correctamente este sumidero térmico, sobre todo teniendo en cuenta que la mayor parte del vapor consiste inicialmente en agua evaporada (alrededor del 80%), mientras que el glicol utilizado habitualmente como anticongelante tarda mucho más en vaporizarse y suele verse muy afectado por el incremento de temperatura (el polipropilenglicol acaba descomponiéndose en esas condiciones volviéndose de color oscuro y olor fuerte y desprendiendo partículas sólidas, por lo que, si se prevé estancamiento, sería preferible utilizar los nuevos fluidos caloportadores de tipo orgánico, aunque sean caros y complejos de utilizar).

En instalaciones pequeñas puede utilizarse la técnica del “Drain Back” (vaciado parcial y recarga automática) para limitar la presión, pero en instalaciones de mayor tamaño, la mejor solución es el uso de sumideros térmicos. Eventualmente podemos usar para ello elementos preexistentes o diseñados simultáneamente a la instalación solar, como piscinas o similar, pero lo más habitual es que este calor se libere a la atmósfera en forma convectiva mediante la instalación de disipadores térmicos pasivos o activos (radiadores o aerotermos respectivamente).

Un exceso de emisión convectiva de este calor residual podría ocasionar cambios sustanciales en los microclimas urbanos adyacentes a las viviendas desde donde se disipa el calor y esto ha llevado a los legisladores a limitar los requerimientos de calentamiento de agua por medios solares a porcentajes manifiestamente inferiores –en ocasiones tremendamente inferiores– a la totalidad de las necesidades, siguiendo dos criterios: que ningún mes del año la producción supere el 110% de las necesidades y que no existan más de tres meses que superen el 100%.

Simultáneamente, sin embargo, vemos que en edificios con programas edificatorios complejos, ya se experimenta desde hace décadas con otras fuentes de energía renovables, aprovechando la especial sensibilidad de los promotores y una mayor disponibilidad de medios que permite una más rápida amortización de la instalación.

Opcionalmente, la legislación española prevé la posibilidad de sustituir la energía solar por cualquier otra energía de tipo renovable para la producción de agua caliente sanitaria, a criterio del proyectista. El resultado de esta opción suele ser que cuando se utiliza cualquier otro tipo de energía renovable en el inmueble se prescinde de la instalación solar, sin considerar la conveniencia de simultanear ambos sistemas.

Una de las opciones más utilizadas para sustituir a la instalación solar es la incorporación de un sistema geotérmico.

Una instalación geotérmica por bomba de calor de baja o muy baja temperatura –siguiendo la clasificación utilizada por el Código Minero de Francia– requiere equipo de producción de calor conectada a una red de tuberías –habitualmente plásticas para evitar la corrosión–, empotradas en el terreno o embutidas en una solera y llamadas sondas geotérmicas, donde el fluido refrigerante absorbe o disipa calor en función del régimen en el que esté funcionando.

Sin embargo, aunque la bomba geotérmica además de climatización es capaz de producir agua caliente sanitaria incluso en los meses muy fríos, debe interrumpir la producción de calefacción para dar preferencia al calentamiento del agua de uso doméstico y, si es de tipo reversible, para generar este agua en verano requiere interrumpir la función de refrigeración, dado que deberá funcionar en régimen de calefacción y no de refrigeración.

Una bomba de calor no reversible, utilizando un juego de válvulas de tres vías, podría producir simultáneamente refrigeración y agua caliente en verano, incrementando el COP hasta prácticamente duplicarlo, pero seguiría presentando el inconveniente en instalaciones de viviendas individuales de tener que interrumpir la calefacción para generar agua caliente en invierno.

Como contrapeso de este inconveniente hay que considerar que el uso de la tierra como elemento de intercambio térmico para climatización es muy eficiente en climas intermedios en que aproximadamente la mitad del año se esté usando el serpentín geotérmico como evaporador y la otra mitad del año como

condensador; de modo que la temperatura de dicho suelo se compense a lo largo del tiempo de funcionamiento. Sin embargo, presenta un problema en determinados climas extremos en que se necesita mayor energía anual para refrigeración que para calefacción o viceversa.

Si el problema es que el régimen de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica es predominantemente de calefacción –cosa que ocurre en la mayor parte de las localidades de determinadas Comunidades Autónomas de la mitad norte de la meseta central española–, nos encontraremos con que estaremos utilizando el serpentín de disipación geotérmica principalmente como evaporador; es decir, estaremos enfriando el suelo sin que el tiempo que lo utilicemos como condensador sirva para compensar la disminución de temperatura sufrida por el mismo.

Una forma de atacar el problema del enfriamiento excesivo del suelo por su uso para la producción de calefacción geotérmica, podría ser la utilización de dicho serpentín como sumidero térmico solar.

Así podemos enfrentarnos a la siguiente cuestión: cuando se prevé la instalación simultánea de dos fuentes de energía renovable como son la solar y la geotérmica, ¿podría utilizarse una como apoyo de la otra para conseguir incrementar el factor solar para la producción de agua caliente sanitaria hasta llegar al 100% sin afectar a los microclimas urbanos antes mencionados y compensar la diferencia entre la potencia calorífica disipada en el suelo y la obtenida de él?

### **Balance energético anual de una vivienda estándar en diversas climatologías españolas**

La climatología española es en gran parte de su territorio predominantemente fría, por lo que las viviendas –cuyo mayor periodo de uso es, en general, nocturno– demandan en su mayoría más energía de calefacción anual que de refrigeración, sobre todo si se trata de tipologías convencionales con paramentos acristalados de superficie limitada.

En el curso de la investigación realizada se han analizado múltiples ejemplos de viviendas, principalmente unifamiliares aisladas, dado que en ellas es más sencillo disponer de suficiente suelo como para que sea viable una instalación geotérmica.

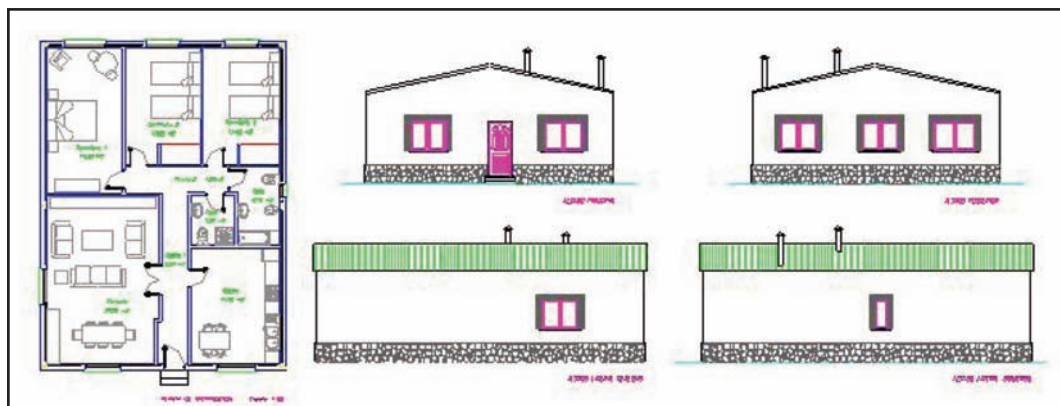


Figura 1. Planta y alzados de la vivienda ejemplo.

Como ejemplo veamos en la *Tabla 1* los balances energéticos de una vivienda unifamiliar sencilla – cuya planta y alzados pueden verse en la *figura 1* –, con una superficie de alrededor de 120 m<sup>2</sup> útiles, en diferentes zonas climáticas españolas.

Insertamos en la columna 1 de la *Tabla 1* la diferencia entre los valores de energía anual necesaria para la calefacción y para la refrigeración de este inmueble en varias ciudades españolas consideradas suficientemente representativas de varias climatologías. En el resto de las columnas vemos la misma diferencia si se incrementa el acristalamiento hasta un 20, 30, 40, 50 y 60%, respectivamente, mientras que en las tres últimas columnas vemos la energía necesaria anualmente para la producción de agua caliente sanitaria, la contribución solar mínima –usualmente denominada factor solar– especificada en el apartado 2.1 del Documento Básico HE-4 del Código Técnico de la Edificación para cada una de dichas localidades y la energía que habría que disipar anualmente si eleváramos

ese factor solar hasta el 100%. Podemos observar que para la limitada cantidad de huecos acristalados de la vivienda ejemplo (alrededor de un 6% de las fachadas) las necesidades de calefacción son siempre mayores de las de refrigeración independientemente de la localidad donde se ubique, por lo que el suelo se verá paulatinamente enfriado año tras año en todos los casos sin que sea factible su recuperación anual y que lo mismo ocurre si elevamos la superficie acristalada hasta superar incluso el 20% de la superficie total de paredes exteriores.

Tendremos que elevar la superficie acristalada hasta un mínimo del 30% para que en las localidades más cálidas las necesidades anuales de refrigeración comiencen a superar a las de calefacción –caso en que se invertirá el proceso calentándose paulatinamente el suelo en vez de enfriándose–, mientras que vemos que en las localidades más frías éstas últimas nunca se verán superadas por la energía necesaria para refrigeración.

LOCALIDAD	BALANCE ENERGÉTICO ANUAL (kWh) PARA UN % DE CRISTAL DEL						AGUA CALIENTE SANITARIA		
	6%	20%	30%	40%	50%	60%	ENERGÍA ANUAL (kWh)	FACTOR SOLAR (%)	ENERGÍA ANUAL A DISIPAR (kWh)
ALBACETE	5.329,85	3.947,54	2.955,25	1.963,33	966,84	-23,49	3.450	70	1.101
BARCELONA	3.099,97	1.034,44	-448,80	-1.930,59	-3.420,17	-4.900,66	2.916	30	1.388
CÁCERES	3.565,77	1.560,17	120,00	-1.318,83	-2.765,14	-4.202,64	2.982	70	1.779
CÓRDOBA	4.109,32	2.319,47	1.034,36	-249,80	-1.540,40	-2.823,10	3.048	60	711
BURGOS	6.052,64	4.898,07	4.069,54	3.240,76	2.408,68	1.581,73	3.113	30	2.363
SEVILLA	3.130,80	1.125,20	-314,95	-1.753,79	-3.200,11	-4.637,60	3.113	70	1.186
TERUEL	6.174,79	5.080,14	4.294,68	3.508,86	2.720,04	1.936,07	3.113	50	1.209

**Tabla 1. Balance energético anual para la climatización de la anterior vivienda con diferentes porcentajes de superficie acristalada (en rojo y con valores negativos si las necesidades de refrigeración superan a las de calefacción) y necesidades energéticas anuales para agua sanitaria.**

La cantidad de energía que es necesario disipar si instaláramos suficientes paneles para superar en todos los meses del año un factor solar del 100% se ha calculado sobre la hipótesis de instalar un número entero de paneles comerciales de superficie de absorción 1,88 m<sup>2</sup>. Para llegar a cubrir el 100% de las necesidades en todos los meses del año, el número de paneles se ha incrementado en todos los casos entre tres y seis veces sobre el mínimo exigido legalmente, dependiendo del factor solar exigido en cada zona por el Código Técnico de la Edificación.

### Análisis de los datos

Lo primero que observamos es que para un inmueble correctamente aislado, las necesidades de refrigeración van a depender fundamentalmente de la superficie acristalada de que disponga (obviamente también de las cargas internas, pero estas son muy bajas en el caso de las viviendas), por lo que además de la localización geográfica, el tomar la decisión de prever simultáneamente la instalación de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y otra instalación de tipo geotérmico, deberá tenerse en cuenta este porcentaje de superficie acristalada.

Si disipamos esta energía sobrante en el suelo, en el caso de Barcelona, Cáceres y Sevilla esta decisión será conveniente únicamente para viviendas con una superficie acristalada aproximadamente inferior al 10%; de hasta un 30%, en Córdoba; si es inferior al 40% en Albacete y, finalmente, en Burgos la superficie de cristal debería superar el 50% de la superficie de las paredes exteriores de la vivienda para que dicha disipación no mejorara el balance energético del suelo, mientras que en Teruel debería superarse incluso el 60% de superficie acristalada, lo que es muy poco probable en una vivienda más o menos convencional.

Los balances energéticos anteriores nos llevan a conclusiones similares para muchos otros ejemplos de viviendas unifamiliares aisladas que hemos analizado, por lo que para nosotros está claro que si se pretende climatizar la vivienda con una bomba de calor geotérmica, para valores de superficies acristaladas inferiores al 20% de la superficie de la pared será conveniente en prácticamente todas las localidades españolas y en todos los casos, analizar si interesa ir a factores solares para la producción de agua caliente sanitaria del 100% y utilizar los serpentines geotérmicos como sumidero para la radiación excesiva captada durante el año, puesto que esta decisión nos permitirá mejorar el balance energético del suelo y, con ello, el COP

del equipo geotérmico, fundamentalmente cuando ya lleva varios años de funcionamiento.

Resumiendo, si se prevé la instalación de una bomba de calor geotérmica para la climatización de una vivienda, será en prácticamente todos los casos interesante considerar la instalación simultánea de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria y combinar ambas para que la primera sirva como sumidero térmico de la segunda.

Utilizando el terreno como disipador térmico de la instalación de producción solar de agua caliente sanitaria, en verano se obtiene refrigeración de la bomba de calor geotérmica y agua caliente sanitaria de ambas instalaciones –geotérmica y solar–. Ambas instalaciones estarán disipando calor simultáneamente en el terreno elevando su temperatura.

En invierno, el calentamiento del inmueble lo dará la bomba geotérmica, que robará del terreno el calor acumulado durante la temporada de refrigeración, incluyendo el disipado por la bomba de calor funcionando en ese régimen y el generado en exceso por la instalación solar, mientras que el agua caliente sanitaria será fundamentalmente proporcionada por la instalación solar. Con esto conseguiremos disminuir la potencia térmica a generar por el equipo geotérmico, puesto que no tendrá que hacerse cargo de la producción de agua caliente salvo en los días en que la producción solar sea insuficiente, lo que ocurrirá en muchas menos ocasiones que en una instalación normal, dado que habremos incrementado considerablemente el factor solar.

### Conclusiones

El desfase entre la disponibilidad de energía solar y su utilización nos obliga a considerar una acumulación no sólo diaria, sino de tipo estacional si deseamos poder obtener factores solares de producción de agua caliente sanitaria del 100%.

Un almacenaje en agua supondría volúmenes de acumulación demasiado grandes como para que sean fácilmente integrables en una vivienda convencional.

Sin embargo, si planteamos la utilización simultánea de energía solar y energía geotérmica, utilizando los serpentines geotérmicos como sumideros térmicos solares, un adecuado estudio del balance energético anual, podría incluso permitirnos, casi en cualquier localidad española, elevar el factor solar de producción de agua

caliente sanitaria sin correr el riesgo de producir la mencionada alteración del microclima, lo que podría inducirnos a analizar la conveniencia de sobredimensionar la instalación solar de producción de agua caliente sanitaria hasta superar los límites establecidos en la normativa sin perjuicio ecológico ninguno y con el correspondiente incremento del aprovechamiento energético procedente de fuentes renovables.

Para valores bajos de acristalamiento (hasta un 15 ó 20% de la superficie de paredes), que son los que normalmente vamos a encontrar en viviendas unifamiliares, la disipación del exceso de calor captado en el terreno mejora en prácticamente todas las localidades españolas el equilibrio energético del mismo.

Por el contrario, en el caso de localidades en que la energía requerida para refrigeración es superior a la demandada para calefacción –lo que como hemos visto ocurre únicamente en determinadas localidades y con altos porcentajes de superficie acristalada–, se debería estudiar seriamente la posibilidad de no instalar producción solar de agua caliente sanitaria, y utilizar a cambio en época estival la bomba de calor geotérmica –que incluso podría ser conveniente que fuera de tipo no reversible– para la producción simultánea de climatización en régimen de refrigeración y agua caliente sanitaria.

El cambio de régimen en el caso de un equipo no reversible podría realizarse fácilmente mediante un sencillo juego de válvulas motorizadas de tres vías, y la eficiencia energética del conjunto se vería así incrementada geométricamente pudiendo fácilmente llegar a COPs de valor 6 ó incluso superiores cuando el sistema funcionara en ese régimen.

Por tanto, utilizando las sondas geotérmicas como foco frío de la bomba de calor y además como disipador térmico del sistema solar térmico obtenemos las siguientes ventajas:

- ✓ Eliminación de aerotermo o masa térmica disipadora en el circuito solar primario.
- ✓ Posibilidad de producción simultánea de agua caliente sanitaria y refrigeración incrementando exponencialmente el COP del equipo geotérmico.
- ✓ Mejora del balance anual de la temperatura del terreno, que de otro modo variará a lo largo de los años si funciona predominantemente en un solo régimen, aunque lo haga muy lentamente.

Las normativas exigen más requisitos cada día en cuanto a dispositivos de ahorro, por lo que se incentiva la voluntad de innovación, optándose en muchos casos por la utilización no sólo por una fuente de energía, sino por la combinación de diversos tipos, creando proyectos de

instalaciones “ad hoc”, con soluciones tan variadas como por ejemplo la incorporación de recuperadores del calor generado por la iluminación o por equipos informáticos, la integración en los huecos acristalados de lamas orientables mecanizadas, el uso de iluminación de bajo consumo graduada, adaptadas a horarios y usos muy variados.

Pero la integración de este tipo de elementos de ahorro energético es mucho más sencilla en edificios no residenciales, donde la flexibilidad debe primar el proceso proyectivo, dado que un cambio de usuario puede implicar variación en muchos de los parámetros controlados por las instalaciones ambientales, mientras que en viviendas su implementación es mucho más compleja y la repercusión económica mayor, puesto que, a mayor tamaño, mayor facilidad de amortización en una instalación bien diseñada y habitualmente mayor disponibilidad financiera e incentivos.

La combinación de diversos tipos de energías se realizan hoy en día en muchos casos de modo habitual y los espacios destinados a instalaciones son adecuados, sin embargo, en edificios residenciales la innovación suele ir a remolque de la administración o asociada al concepto de lujo y ello conlleva que no se prevean cuartos de calderas adecuados ni otros elementos, como techos altos, que permitan la sencilla incorporación de las instalaciones térmicas; es decir, no se adecua la estética a la instalación, no se innova ni se valora en su justa medida el ahorro energético primando las políticas a corto plazo.

En previsión de esto se debería tender a la implementación de sistemas combinados que vayan más allá de las exigencias actuales. Tender al concepto “cero energía” –viviendas autosuficientes energéticamente– utilizando varias fuentes energéticas renovables a la vez. Un ejemplo sencillo y energéticamente viable es el que se acaba de analizar.

El principal problema de la implantación simultánea de este tipo de instalaciones complejas radica en la coordinación de las distintas energías para conseguir un funcionamiento coherente.

Así, debemos optar por prever elementos que realicen distintas funciones, o en su defecto, elementos que realicen la misma función, pero en situaciones distintas. Para ello es fundamental el conocimiento del comportamiento del edificio en las distintas situaciones en las que se vaya a utilizar.

Dado el dudoso futuro esperable de las reservas de combustibles fósiles, una actitud

sensata sería optar por el uso de energías de tipo renovable, como la solar térmica o la energía geotérmica, que pueden ser consideradas como las fuentes más abundantes disponibles a día de hoy, combinándolas entre sí para obtener lo mejor de cada una de ellas.

Ambos tipos de instalaciones cumplen con el requisito de la disponibilidad de equipos tanto a escala doméstica como para edificios mayores –lo que permitirá la viabilidad económica necesaria–, y presentan la ventaja frente a otro tipo de instalaciones de no necesitar excesivo espacio para su instalación –lo cual es muy importante en edificación residencial–. Además, como podremos comprobar a continuación, se complementan entre sí proporcionando combinadas un efecto sinérgico sobre lo mejor de ambas soluciones.

La producción de energía solar por medio de colectores planos combinada con una bomba de calor geotérmica permite el abastecimiento de agua caliente sanitaria y la climatización del edificio durante todo el año, evitando la utilización de cualquier combustible fósil, requiriendo únicamente conexión eléctrica para los equipos de bombeo y el compresor.

El único inconveniente de la utilización simultánea de ambos sistemas es el incremento del costo de la instalación. Sin embargo, teniendo en cuenta los precios de fuentes de energía e instalaciones actuales y el espacio necesario para su implementación puede considerarse que la producción de un porcentaje significativo del Agua Caliente Sanitaria por medio de colectores solares es, probablemente, el compromiso óptimo entre la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y el libre desarrollo del proyecto y que la elevación simultánea de este porcentaje a su máximo y la utilización de sistemas geotérmicos es energéticamente una solución extremadamente interesante.

En cualquier caso, siempre habrá que considerar a este respecto que probablemente, instalaciones rentables actualmente, no lo sean dentro de unos años, debido a un cambio de panorama en el sector energético y en ese momento, este tipo de instalaciones –más caras de montar pero tremendamente eficientes– pasarán a ser también económicamente deseables.

<sup>1</sup> En el punto 3 del apartado 2.1 del Documento Básico HE-4 del Código Técnico de la Edificación, se indica que «El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%»