

Aplicación de sistemas de expansión directa en instalaciones geotérmicas

Ramón Bacardit Vallribera y Ramón González Villagrasa

Mitsubishi Electric Europe

Actualmente es viable la combinación del uso de energías geotérmicas con las últimas tecnologías en sistemas de climatización de caudal de refrigerante variable, permitiendo cubrir las diferentes demandas energéticas con el mismo sistema de producción de energía térmica. Desde el acondicionamiento térmico de confort, pasando por la producción de ACS, hasta refrigeración de equipos especiales. Incluso combinando, en los mismos equipos, diferentes soluciones de elementos terminales como pueden ser climatizadores, paneles radiantes, inductores, vigas frías y equipos de expansión directa. Todo ello, unido a las mejores prestaciones de eficiencia energética de los sistemas geotérmicos, permite proyectar instalaciones con reducidos consumos y mínimas emisiones de CO₂.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia de una instalación no pasa sólo por la aplicación de una solución, si no por la integración de diferentes soluciones en un mismo sistema. Actualmente la tecnología nos permite integrar en las instalaciones estas “diferentes soluciones” en un mismo sistema, con lo que se puede lograr un aprovechamiento energético mucho mayor.

Cuando se piensa en una aplicación de geotermia sólo se tienen en cuenta la solución con máquinas de producción agua-agua, con las

consecuentes limitaciones de este sistemas para adaptarse a las exigencias del mediano terciario.

La necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización de los edificios ha llevado a los fabricantes de sistemas de expansión directa de caudal de refrigerante variable a desarrollar equipos capaces de trabajar en sistemas geotérmicos y con la posibilidad de combinar diferentes soluciones de transferencia de calor al interior del edificio, incluso capaces de recuperar el calor extraído aplicándolo a otros usos.

En este artículo se pretende presentar la aplicación de la geotermia en sistemas de expansión directa y a su vez la combinación de esta solución con sistemas de recuperación de calor, con posibilidades de proporcionar frío y calor simultáneo, así como la producción de agua caliente, para usos diversos y agua caliente sanitaria, mediante el aprovechamiento del calor residual de condensación.

Esta reducción de coste energético no puede lograrse sólo con la aplicación de instalaciones geotérmicas en un sistema tradicional, si no que hay que adaptar todo el sistema de producción a fin de que este ya sea eficiente por sí mismo, esta eficiencia logrará que el coste añadido por perforaciones e instalación de la geotermia acabe amortizándose en un periodo menor de tiempo.

Para mostrar estas aplicaciones se utilizará la simulación de necesidades energéticas en un edificio real, aplicando las diferentes soluciones y valorando el resultado de consumos energéticos y emisiones de CO₂ anuales.

CASO DE ESTUDIO

A fin de obtener un modelo adecuado para la simulación y análisis, se establecen una serie de hipótesis de partida que describimos a continuación.

El modelo escogido ha sido un Hotel de 4 estrellas, que dispone de 50 habitaciones, zonas comunes, restaurante y una pequeña piscina cubierta de unos 60 m².

Las características de uso, ocupación, zonificación y horarios, son las indicadas en la tabla I, como puede verse en la figura 1.

Se ha escogido un modelo de distribución de temperaturas exteriores, que corresponden a zonas de clima moderado en la península:

Las temperaturas del terreno se han considerado de 14°C, aplicando un diferencial de 5°C, positivo en los 3 meses de verano y negativo en los 3 meses de invierno.

Tabla I. Datos generales del edificio	
Uso	Hotel 4*
Superficie	1.800 m ²
Locales a climatizar	Hall 50, habitaciones, salón, restaurante y piscina cubierta.
Máxima demanda refrigeración	193 kW
Máxima demanda calefacción	153 kW
Demanda punta ACS	51 kW
Máxima demanda calefacción vaso piscina	18 kW

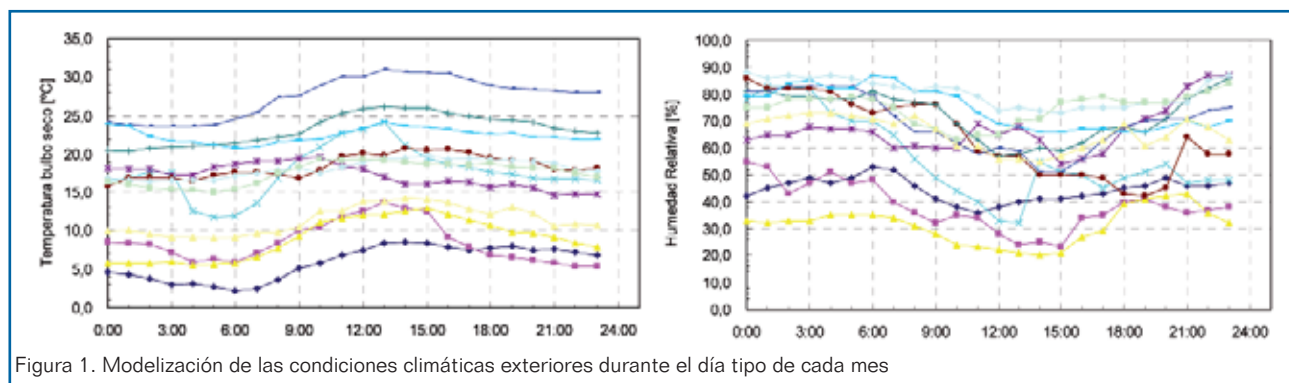


Figura 1. Modelización de las condiciones climáticas exteriores durante el día tipo de cada mes

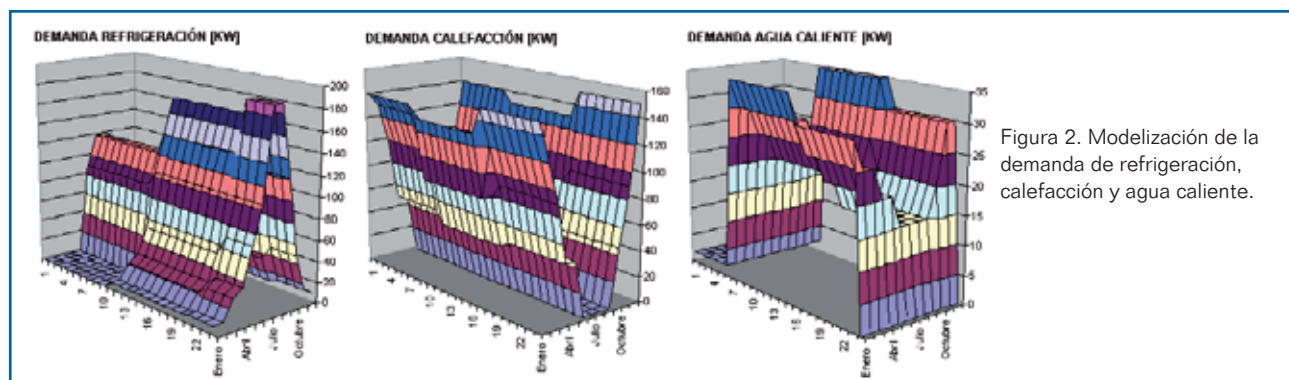


Figura 2. Modelización de la demanda de refrigeración, calefacción y agua caliente.

Se han modelizado las curvas de demanda energética a partir de la información anterior, para cada día tipo de cada mes del año, con el patrón que se refleja en la figura 2.

En la tabla II se establecen las características de cada tipo de energía que será utilizada por los sistemas a simular.

Tabla II. Características de la energía.	
Eficiencia en la generación eléctrica	35,0%
Emisión de CO ₂ electricidad [g-CO ₂ /kWh]	649
Poder calorífico gas natural [kWh/kg]	15,1
Emisión CO ₂ caldera de gas natural [kg-CO ₂ /kg]	4,34
Emisión CO ₂ caldera de gas natural [g-CO ₂ /kWh]	287

* Valores de emisión referenciados a los tomados por el programa CALENER

Por último, se han establecido los parámetros de eficiencia de los diferentes sistemas de producción. Las características de eficiencia para los equipos de producción por compresión son los correspondientes a los diferentes modelos, todos de la misma categoría, a fin de independizar el análisis del tipo de sistema de producción lo máximo posible. La característica de eficiencia de las calderas simuladas ha sido de un 95% sobre el PCI del gas natural.

No se tienen en cuenta los consumos de elementos terminales en la simulación, considerándose los mismos en todos los casos.

SISTEMAS SIMULADOS

Se han definido 4 tipos de sistemas diferentes a simular, desde un sistema de condensación por aire bomba de calor sin recuperación, hasta sistemas geotérmicos mixtos con mayor o menor capacidad de recuperación de calor. Las características comparativas principales pueden observarse en la tabla III.

Tabla III. Características de los diferentes sistemas.				
	Sistema Geotérmico	Refrigeración y calefacción simultánea	Recuperación calor entre zonas a climatizar	Recuperación de calor para agua caliente
SISTEMA 1	No	No	No	No
SISTEMA 2	Si	No	No	No
SISTEMA 3	Si	Si	Si	No
SISTEMA 4	Si	Si	Si	Si

Para conseguir las características de producción anteriores, en cada uno de los sistemas se han aplicado diferentes tecnologías de equipos, que pasamos a detallar.

SISTEMA 1

Se trata de un sistema de caudal de refrigerante variable bomba de calor, condensado por aire, sin recuperación de calor, con unidades terminales de expansión directa para acondicionar las zonas de confort.

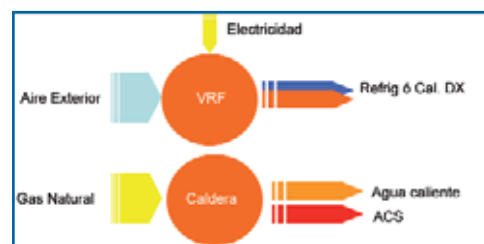


Figura 3. Modelización Sistema 1

Las zonas a acondicionar no podrán entregar refrigeración y calefacción simultáneamente, se satisfará la demanda más exigente en cada momento.

La producción de agua caliente, tanto para calentamiento del vaso de piscina, como sanitaria será independiente, mediante caldera de gas natural.

SISTEMA 2

Se trata de sistemas geotérmicos de caudal de refrigerante variable bomba de calor, condensado por agua, sin recuperación de calor, con unidades terminales de expansión directa para acondicionar las zonas de confort.

Las zonas a acondicionar no podrán entregar refrigeración y calefacción simultáneamente, se satisfará la demanda más exigente en cada momento.

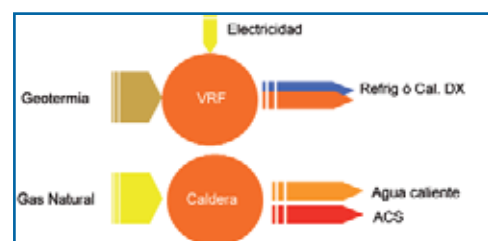


Figura 4. Modelización Sistema 2

La producción de agua caliente, tanto para calentamiento del vaso de piscina como sanitaria será independiente, mediante caldera de gas natural.

SISTEMA 3

Se trata de un sistema geotérmico, formado por unidades de caudal de refrigerante variable con recuperación de calor, con unidades terminales de expansión directa para acondicionar las zonas de confort.

Permitirá el funcionamiento simultáneo en frío y calor de las diferentes zonas y la recuperación de energía entre ellas.

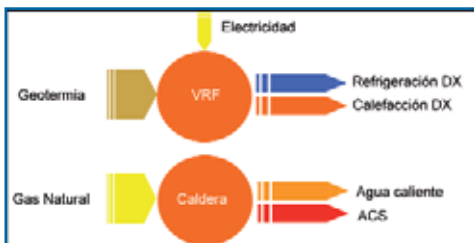


Figura 5. Modelización Sistema 3

Se complementa con una caldera independiente la producción de agua caliente sanitaria y calentamiento del vaso de la piscina.

SISTEMA 4

Se trata de un sistema geotérmico de caudal de refrigerante variable, con recuperación de calor, que cubrirá todas las necesidades energéticas del edificio.

El sistema combina unidades terminales de expansión directa para acondicionar las zonas de confort, con unidades terminales de producción de agua caliente, a 45°C para calentar el vaso de la piscina, así como unidades terminales de producción de ACS hasta 70°C.

Al ser un sistema de producción mixto, aprovecha el calor de condensación para mejorar el rendimiento en la

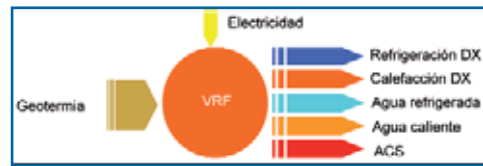


Figura 6. Modelización Sistema 4

producción de agua caliente sanitaria y dispone de recuperación de energía entre zonas que satisfacen demandas de signo opuesto.

Las unidades de producción comparten el mismo anillo de agua geotérmico, el cual también permite recuperar energía, dependiendo del modo de trabajo de cada unidad exterior (refrigeración o calefacción) y minimizando la demanda energética geotérmica.

Se dispone de un amplio rango de trabajo, aceptando temperaturas del agua en el anillo entre -5°C y 45°C, lo que permitiría adicionar otros componentes (aerocondensadores, torres adiabáticas, etc.) para evitar la saturación del terreno o limitar el tamaño del intercambiador geotérmico y su coste.

La figura 7 representa un esquema de principio tipo de los equipos de caudal de refrigerante variable que formarán el sistema de producción.

Se observa que podrían ser utilizados para generar agua refrigerada, permitiendo el empleo

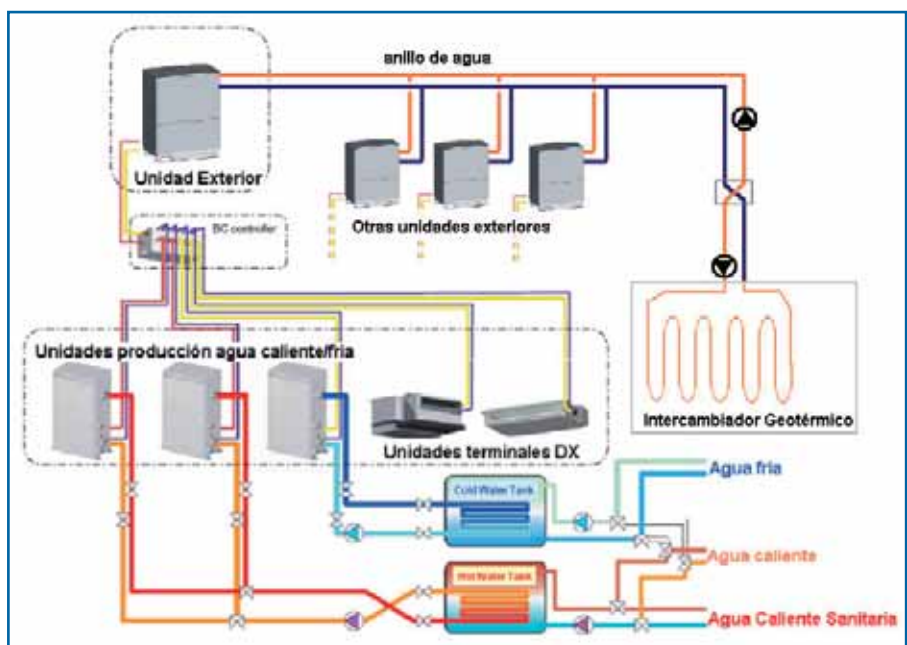


Figura 7. Esquema principio Sistema 1

combinado de unidades de expansión directa con fancoils, climatizadores de agua, techos refrescantes, vigas frías, inductores, etc.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

La comparación entre estos sistemas se debe realizar en términos de consumo de energía primaria y emisiones de CO₂, para no obtener conclusiones erróneas.

Los sistemas que utilizan calderas a gas natural presentan menores eficiencias energéticas y mayores consumos y es debido a que la conversión a energía térmica no es tan eficiente, como un ciclo de compresión, donde la energía eléctrica se utiliza sólo en el transporte de energía térmica.

Aún así, se puede observar que la mejor eficiencia global del sistema queda determinada por la capacidad de recuperación de los equipos, mejorando en épocas extremas al utilizar energía geotérmica (figura 8).

Los equipos bomba de calor con recuperación, evaporan y condensan parcialmente contra temperaturas de ambiente interior, que serán más favorables que las temperaturas del terreno o las del aire exterior, consiguiendo un aumento de rendimiento adicional.

Los consumos de energía de cada sistema se han calculado para cada tipo de energía, gas natural y electricidad, con los resultados indicados en la tabla IV.

Estos niveles de consumo, al igual que la eficiencia de los equipos que hemos detallado anteriormente, no son significativos por sí mismos. Serán empleados para el cálculo de costes de explotación, como veremos posteriormente.

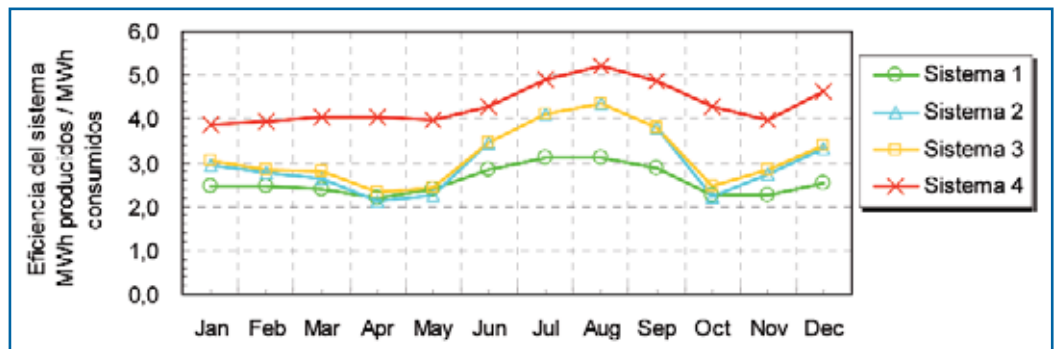


Figura 8. Eficiencia mensual de los sistemas.

Tabla IV. Consumos de los diferentes sistemas.													
Sistema 1	Total anual	En	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Consumo eléctrico [MWh]	263.8	31.9	22.0	22.0	13.4	16.5	18.3	26.1	29.5	18.8	14.7	20.0	30.4
Consumo gas natural [MWh]	163.4	18.5	14.2	15.7	12.5	13.0	9.9	10.2	10.2	9.9	13.0	17.9	18.5
Sistema 2	Total anual	En	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Consumo eléctrico [MWh]	219.8	27.4	18.8	19.6	12.4	16.3	16.2	20.2	21.1	14.6	13.3	17.1	22.8
Consumo gas natural [MWh]	144.6	14.7	13.3	14.7	14.3	14.7	7.1	7.4	7.4	7.1	14.7	14.3	14.7
Sistema 3	Total anual	En	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Consumo eléctrico [MWh]	206.5	25.9	18.1	17.6	9.8	14.3	16.2	20.2	21.1	14.6	10.7	16.1	21.9
Consumo gas natural [MWh]	144.6	14.7	13.3	14.7	14.3	14.7	7.1	7.4	7.4	7.1	14.7	14.3	14.7
Sistema 4	Total anual	En	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Consumo eléctrico [MWh]	241.9	30.5	21.4	21.4	13.2	16.8	17.9	22.0	22.7	16.1	13.8	20.5	25.6
Consumo gas natural [MWh]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

El consumo de energía primaria se ha calculado a partir de los datos anteriores y de la eficiencia de la generación eléctrica, que fue fijada en los datos de partida.

Como se desprende de la observación de los resultados, los consumos de energía primaria disminuyen proporcionalmente a la capacidad de recuperación del sistema.

Aunque los sistemas con mayor capacidad de recuperación hacen uso de energía eléctrica, que es la fuente de energía más penalizada (35% de eficiencia de generación), logran una mayor reducción de consumo de energía primaria.

La utilización de sistemas sin recuperación representa un sobreconsumo de energía primaria de entre un 4% y un 9% más que los sistemas con recupera-

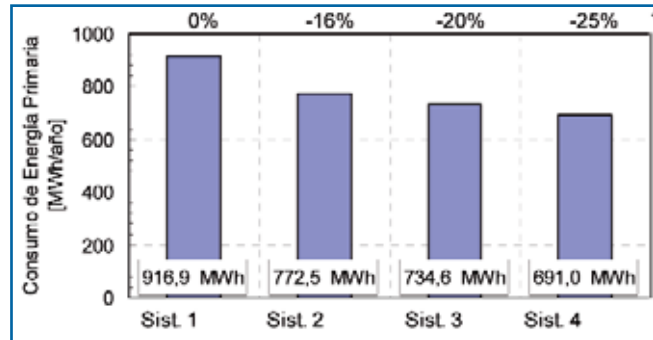


Figura 9. Comparación consumo anual de energía primaria

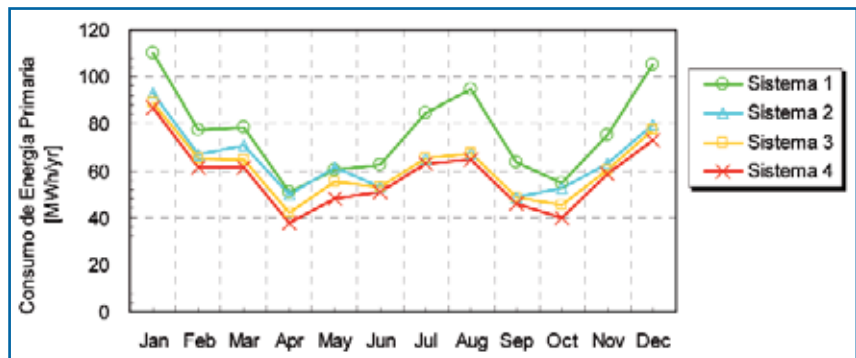


Figura 10. Consumo mensual de energía primaria

ción. Extender la recuperación de energía a la producción de ACS y al calentamiento del vaso de la piscina, es decir pasar del sistema 3 al 4, representará un ahorro de energía primaria de un 5%.

Con respecto a las emisiones de CO₂, éstas dependen en gran medida de la calidad de la energía consumida.

Si bien la relación las emisiones del gas natural son menores que las de generación y transporte eléctrico, observando los resultados, el diseño de aplicaciones más eficientes compensa ese hecho diferencial.

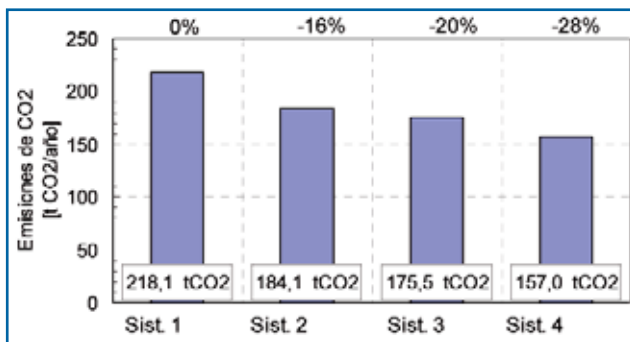


Figura 11. Emisión anual de CO₂

Conviene destacar que si bien la diferencia de ahorro en energía primaria puede no ser suficiente para justificar el empleo de sistemas de mayor eficiencia, la diferencia en emisiones de CO₂ es más significativa y podrá hacernos plantear la incorporación de tecnologías medioambientalmente mucho más limpias.

Es el caso de los sistema 3 y 4, donde la diferencia en consumo de energía primaria es de un 5%, pero se traduce en una reducción de emisiones de un 8%.

Adicionalmente, se debería tener presente que el empleo de sistemas de producción eléctricos, permitirá que nuestra instalación reduzca gradualmente sus emisiones de CO₂ conforme el parque de producción de energía eléctrica vaya incrementando su porcentaje de tecnologías renovables.

Por último, se ha estudiado la amortización de cada solución, considerando un TIR del 3,5%. En función de la subvención recibida, escoger un sistema geotérmico tendrá un retorno de inversión que oscilará entre 12 y 20 años. Reducién-

dose hasta en 4 años ese tiempo, si se escogen sistemas con mayor capacidad de recuperación energética.

Los edificios pueden ser lugares ideales para conseguir una alta eficiencia basada en la recuperación de energía y en sistemas geotérmicos.

CONCLUSIONES

Para minimizar los consumos energéticos y emisiones de CO₂ en el diseño de una aplicación o sistema, se debería intentar realizar un diseño global de las instalaciones, determinando las posibilidades existentes para poder recuperar el calor entre diferentes procesos.

Es posible diseñar soluciones a medida para cada tipo de instalación, proyectando sistemas mixtos, que incluyan últimas tecnologías de recuperación de energía, mejorando la rentabilidad de la inversión en tecnologías geotérmicas.

Los edificios pueden ser lugares ideales para conseguir una alta eficiencia basada en la recuperación de energía y en sistemas geotérmicos. Las posibilidades son muchas, desde la generación de fluidos a temperaturas contrapuestas para la deshumectación de aire exterior y posterior recalentamiento, pasando por el uso de tecnologías que incluyan desde la generación de ACS, hasta el apoyo a la refrigeración equipos especiales.

En este estudio no se ha tenido presente la influencia de los diferentes tipos de unidades terminales. Sería posible el empleo de sistemas mixtos que permitan el empleo de inductores, techos radiantes u otras, que pueden llegar a optimizar aún más los ahorros energéticos obtenidos.

REFERENCIAS

- ▶ Training Center of Sales & Engineering (2007): "Air Conditioning Basics 1st ed". Mitsubishi Electric Corporation.
- ▶ AC&R (2009): "Performance Calculation Software". Mitsubsihi Electric Corporation. ■