

Aplicación de una bomba de calor geotérmica

En un complejo parroquial en Módena, al norte de Italia

Alessandro Sandelewski

ASC Engineering Srl

La iglesia parroquial de Gesù Redentore en Módena, norte de Italia, es un conjunto de tres edificios que conforman un total de 3.000 m². Su llamativa apariencia representa un enlace muy exitoso con el pasado histórico de la ciudad y su noble herencia medieval, mientras que al mismo tiempo es pionero en arquitectura eclesial contemporánea. Sus sistemas mecánicos no son tampoco menos innovadores, se componen de una bomba de calor geotérmica, que incorpora 60 pozos geotérmicos, cada uno con una profundidad de 80 metros. El sistema de refrigeración y calefacción por suelo radiante para la iglesia también es uno de los primeros ejemplos en Italia de esta clase de aplicación. El sistema BMS permite un fácil control y monitorización del funcionamiento, sin necesidad de personal especializado en el edificio.



INTRODUCCIÓN

La ciudad de Módena, situada en el norte de Italia, es muy conocida por su centro histórico medieval, sus iglesias y altas torres, así como por su excelente vino y gastronomía. El nombre de Módena se conoce mundialmente por ser el hogar de prestigiosas fábricas de automóviles como Ferrari y Maserati, donde la ingeniería innovadora es el orgullo de esta atractiva ciudad.

Por ello, es apropiado que una de las primeras aplicaciones de trabajo de bomba de calor geotérmica en Italia se desarrollara aquí, en un contexto que nos recuerda la tradición más que la innovación: el conjunto de una iglesia.

La iglesia parroquial de Gesù Redentore se inauguró el 4 de mayo de 2008, con una solemne ceremonia presidida por el obispo. Es la parroquia mayor de la diócesis de Módena, creada por la fusión de tres parroquias que existían previamente.

LOS EDIFICIOS

El diseño de la iglesia se realizó entre los años 2001 y 2005, tras un concurso de diseño organizado por la Conferencia Episcopal italiana, cuyo ganador fue el arquitecto milanés Mauro Galantito.

El espacio interior de unos 1.000 m², destaca por una zona de triforio más elevada, que rodea el espacio de reunión, resalta las características de las paredes perimetrales que estiran la gran «vela» en el falso techo acabado con yeso, lo que desmaterializa la importancia estructural del techo.

El interior también incluye espacios al aire libre: el Huerto de los Olivos, que amplía el espacio del altar con un efecto similar al de un ábside, y la gran fuente con agua en movimiento, en la parte opuesta, lo que conecta tanto visual como simbólicamente la Fuente bautismal con la Capilla.

La capilla para uso diario, que tiene dos entradas (una desde la iglesia y otra desde el exterior), puede utilizarse separadamente de la iglesia principal y finaliza de modo totalmente natural el camino de acceso y la transición entre el patio de la iglesia, el portal y la fuente bautismal.

La iluminación cenital y las grandes ventanas perimetrales, que permiten que la luz natural entre libremente, exaltan la simplicidad y linealidad de la estructura.

El uso de un nuevo tipo de cemento «autolimpiable» permitirá que las paredes conserven su color blanco incluso después de varios años, al mismo tiempo que resisten el fenómeno denominado *esmog* y las condiciones climáticas.

Vista exterior de la iglesia.



Torre campanario.





Vista del interior.



Otra vista del interior.



El Huerto de los Olivos.

El conjunto también incluye los dos edificios de la Sala Parroquial y la Casa de Acogida. La primera tiene dos pisos sobre el suelo y uno debajo, con una superficie de unos 1.900 m². Alberga una sala multifunción que puede dividirse en tres zonas, así como espacios para la docencia y el ocio y una pequeña cocina que se utiliza para reuniones y fiestas.

La Casa de Acogida también está construida en dos pisos sobre el suelo y uno debajo, con una superficie de unos 1.500 m². Incluye habitaciones con dos camas, comedor y cocina principal, zonas comunes para personas mayores y personas en riesgo de exclusión así como la residencia de los sacerdotes.

La arquitectura de los edificios es similar a la de la iglesia: sencilla y esencial, pero también agradable y luminosa.

La iglesia se calienta y refrigera mediante un sistema de suelo radiante, que utiliza un tipo especial de tubería de polietileno enterrada en la capa de cemento del suelo, que emplea el aire primario exterior para la ventilación y deshumidificación. Este tipo de sistema es especialmente adecuado para espacios grandes y altos, en los que un sistema por aire no es una buena opción por su impacto estético, sí como para la estratificación del aire y problemas sonoros. La capacidad en invierno del sistema radiante es de 70 W/m², mientras que para el verano no supera los 30 W/m², dada la necesidad de evitar la formación de condensados en el suelo, lo que limita la temperatura del suministro de agua enfriada a 13°C.

Los circuitos del suelo emplean cabezales modulares situados en cajas de acceso especiales. Cada circuito está equipado con una válvula motorizada para regular la temperatura de la zona y seleccionar su desconexión.

El sistema de calefacción radiante funciona con carácter permanente en invierno y está calculado para mantener una temperatura interior de 14°C. Durante las ceremonias el incremento necesario para garantizar una temperatura interior de 18°C se suministra por la unidad de tratamiento de aire situada en el sótano que hay debajo del suelo de la iglesia.

La unidad está equipada con una sección de doble filtrado, de eficiencia G3 y F8, unidad de recuperación de calor estático aire-aire, de una

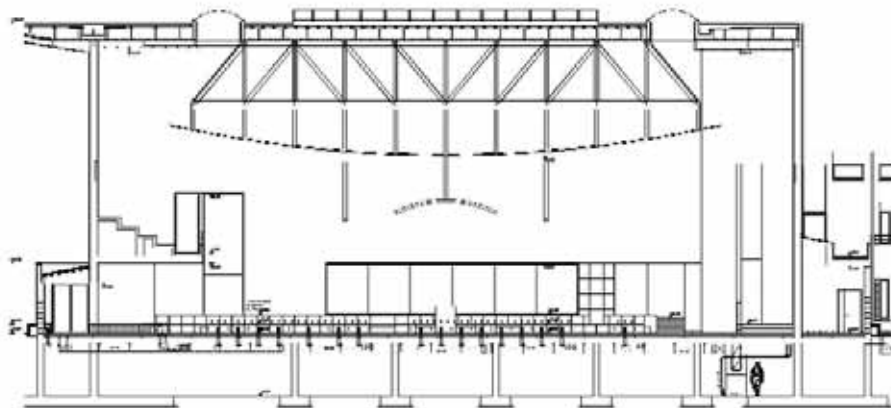
unidad de tratamiento de aire con serpentín alimentado con agua enfriada en verano y agua caliente en invierno. La refrigeración de verano se proporciona sólo para mejorar el confort interior, sin buscar una temperatura precisa ni un control de humedad que resultarían injustificados dadas las pocas horas de carga completa en verano.

El suministro de aire se produce a través de rejillas lineales dispuestas alrededor del perímetro e integradas en los bancos de piedra, mientras que el retorno se obtiene a través de cuatro rejillas montadas en el suelo y que están situadas en las cuatro esquinas de la iglesia.

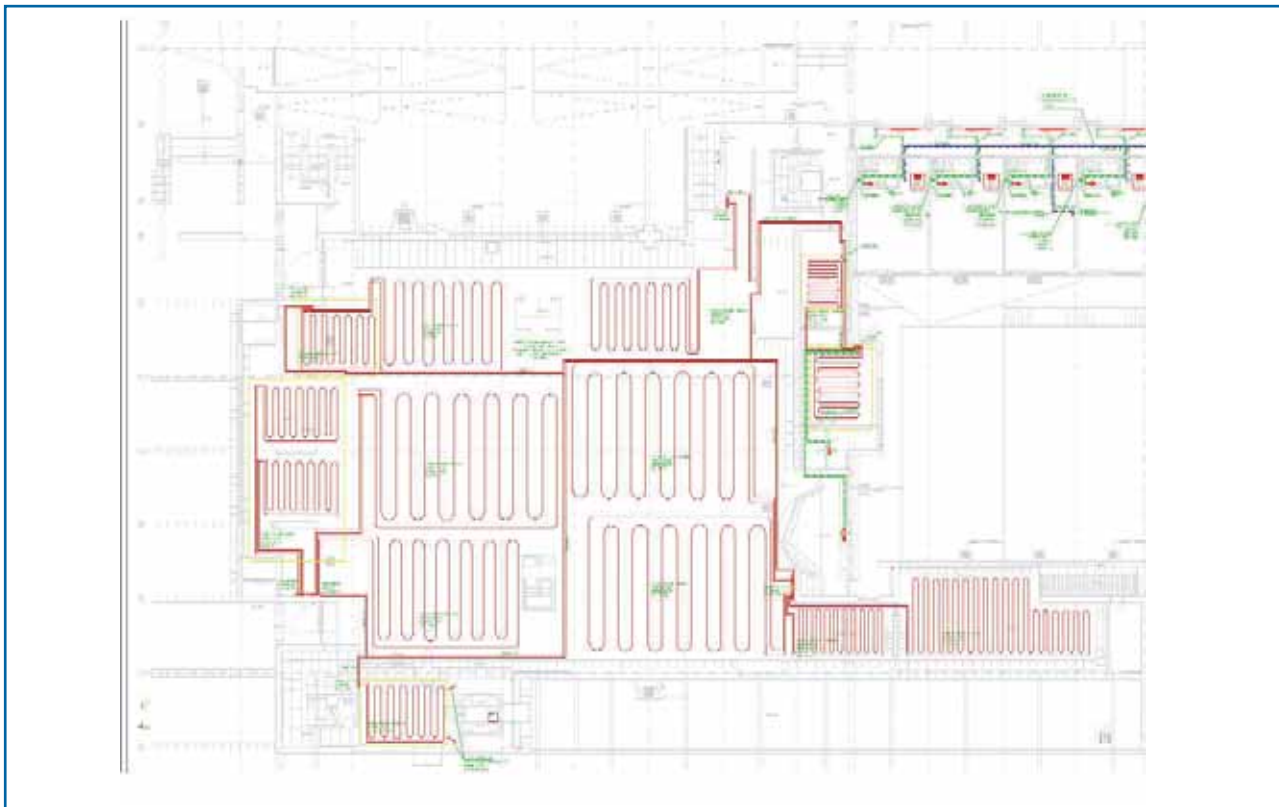
La zona de la fuente bautismal está equipada con paneles radiantes eléctricos montados en el suelo, con un termostato de control, que conforman la base del sistema de calefacción cuando se celebran los bautismos.

La capilla está equipada con un sistema de panel radiante como se ha descrito anteriormente, formado por un sistema todo aire suministrado por la unidad que da servicio a la Casa de Acogida. Para asegurar el posible funcionamiento selectivo de las diferentes zonas del sistema de panel radiante, las bombas de circulación correspondientes utilizan el sistema inverter.

Los sistemas para la Sala Parroquial y la Casa de Acogida son estándar, con radiadores, unidades ventiloconvectoras de dos tuberías y unidades de tratamiento de aire, de las que no hablaremos en este artículo.



Sección de la iglesia.



Sistema de calefacción del suelo en la iglesia.

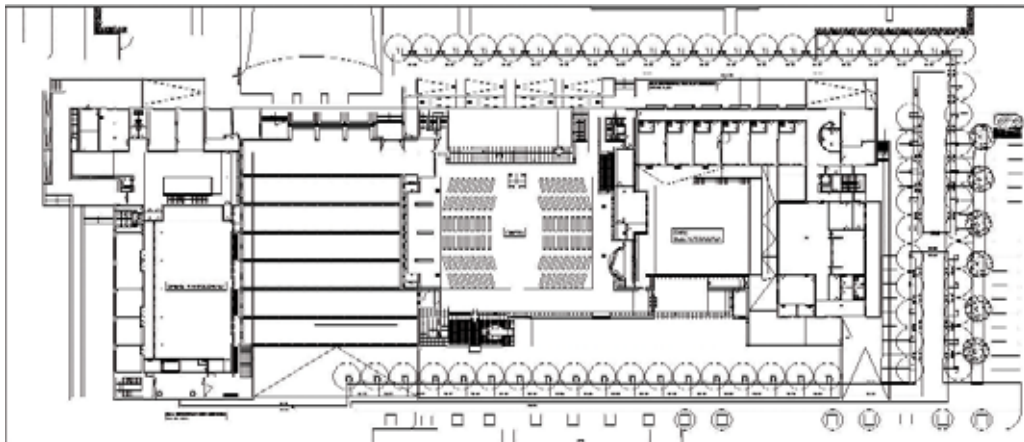
LAS PLANTAS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Mientras todas las salas del complejo se calientan en invierno, la refrigeración para el verano sólo está prevista para el 50% de ellas. Por tanto, el sistema de bomba de calor con pozos geotérmicos da cobertura a todas las necesidades de refrigeración de verano y aproximadamente al 60% de las necesidades en invierno. Hay dos salas de máquinas, una que da servicio a la Iglesia y a la Casa de Acogida y otra a la Sala Parroquial. Cada sala de máquinas alberga las unidades de bomba de calor, los colectores de suministro y retorno, las bombas de circulación y los colectores de agua caliente sanitaria. Dos bombas de calor agua-agua suministran la energía para la calefacción y refrigeración de los espacios así como la producción de agua caliente sanitaria. Estas dos bombas de calor utilizan el suelo como fuente de calor en invierno y como sumidero de calor en verano. Se suministra calefacción suplementaria, cuando es necesario, mediante la red urbana de calefacción de distrito.

Las bombas de calor producen agua a 6°C en verano y 45°C en invierno; la diferencia de la temperatura de diseño en ambos casos es de 8 K.

El intercambio de calor con el suelo se produce mediante circuitos de polietileno reticulado DN 40, insertado en el suelo dentro de 60 pozos verticales, cada uno de los cuales tiene un diámetro de 100 mm y una profundidad de 80 m, situados a una distancia de 5m. Los pozos se sitúan dentro de zonas verdes o bajo las calles interiores del conjunto. Las válvulas de cierre para cada circuito se sitúan dentro de trapas accesibles. Se utiliza un esquema de retorno invertido en la red de circuitos para la ecualización de la presión. El espacio entre los pozos y circuitos se rellena con bentonita. El fluido que circula en el circuito es agua tratada. La temperatura de funcionamiento se seleccionó de modo que se evitara el empleo de soluciones de glicol. Los circuitos que dan servicio a las dos bombas de calor están separados pero interconectados con una llave de bypass normalmente cerrada.

En la sala de máquinas de la Casa de Acogida, en verano se produce agua enfriada a dos temperaturas diferentes: por una parte, a 6°C para el suministro de la unidad de tratamiento de aire y las unidades ventiloconvectoras y a 13°C para los paneles en la iglesia. Es interesante darse cuenta de que originalmente la temperatura de diseño del suministro para este circuito era de



Plano del conjunto, con la ubicación de los pozos geotérmicos.



Bomba de calor para la iglesia.



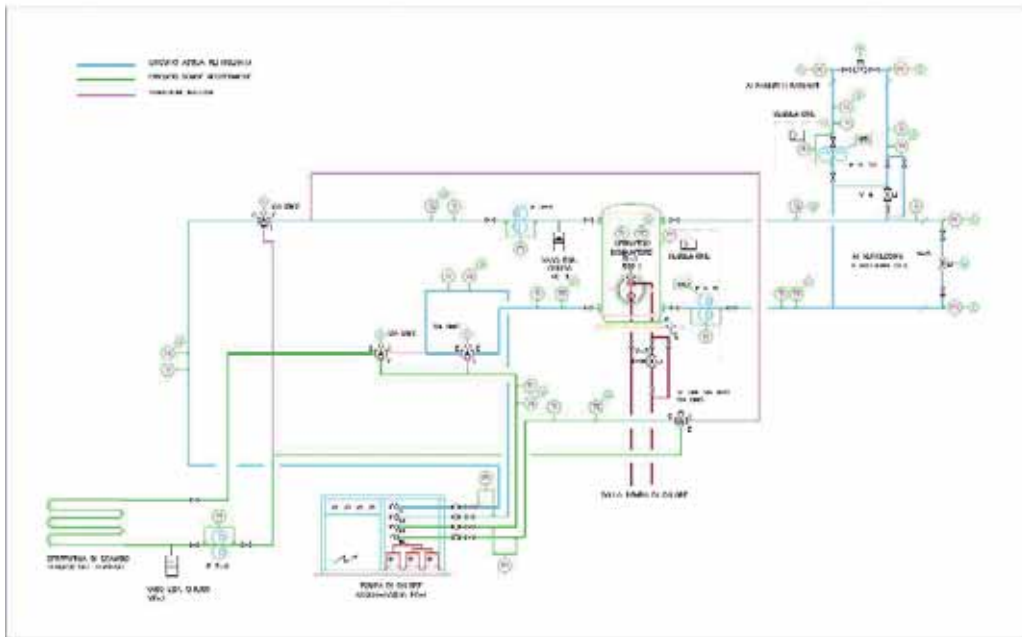
Bomba de calor para la Sala Parroquial.

17°C; sin embargo, en la primera temporada de funcionamiento, se observó que podía reducirse sistemáticamente a 13° C antes de que se creara condensación. En la Sala Parroquial, el agua enfriada se produce a sólo 6°C.

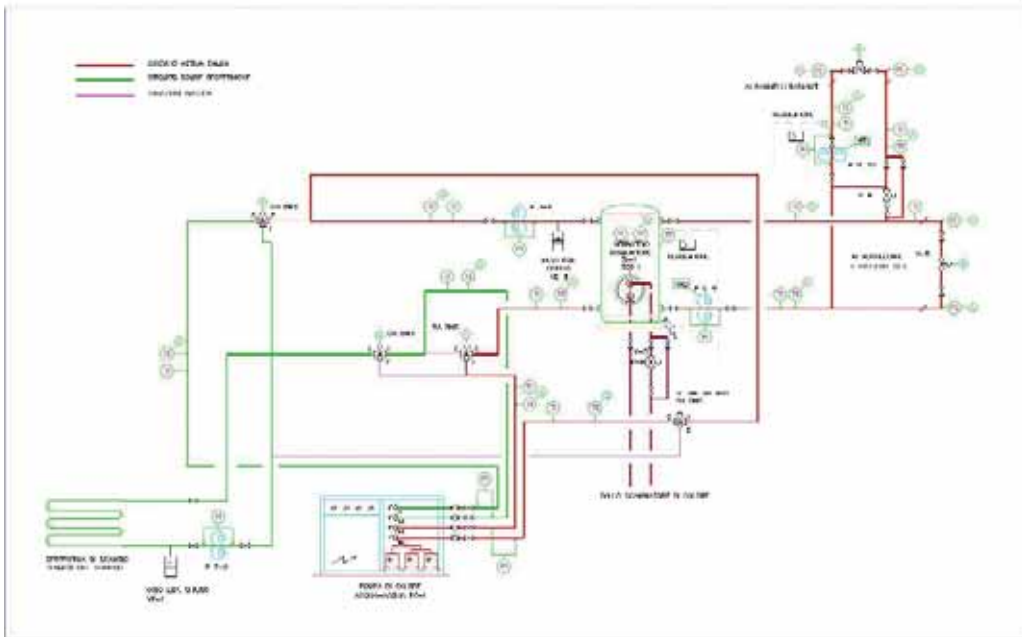
El agua caliente primaria a alta temperatura de la red de calefacción urbana alimenta un intercambiador de calor de placa plana que produce, en la parte secundaria, agua caliente a una temperatura máxima de 85°C, que se utiliza directamente en los radiadores empleados para la calefacción de espacios en las salas que no tienen acondicionamiento de aire, así como para la

producción de agua caliente sanitaria. La temperatura no se reajusta según la temperatura ambiente puesto que el suministro de agua primario a alta temperatura ya se regula según sean las necesidades.

En la temporada de invierno, el agua caliente producida por las bombas de calor se utiliza a 45°C para las unidades ventiloconvectoras así como para las de tratamiento de aire. El circuito de calefacción y refrigeración del local está separado hidráulicamente del circuito de producción a través de un tanque separador, que también actúa como amortiguador para reducir el



Esquema de funcionamiento en verano.



Esquema de funcionamiento en invierno.

número de puestas en marcha-paros de la bomba de calor. El tanque también consta de un serpentín de calefacción alimentado por un intercambiador de calor de placas descrito en la red para ofrecer calefacción al local cuando sea necesario y garantizarlo para cualquier circunstancia, por si la unidad debe detenerse por cualquier motivo. Como ya se ha comentado, todas las bomba de calor emplean el sistema inverter, y todas las válvulas de control son de dos vías.

EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL EDIFICIO

Todas las unidades terminales y las de tratamiento de aire funcionan con válvulas de control de dos vías para permitir el funcionamiento de flujo variable y un cierre selectivo de las salas no ocupadas.

Esto incluye los radiadores en las salas que sólo se calientan, que, en lugar de válvulas ter-



Un controlador local.



La unidad de control BMS.

mostáticas autónomas, están equipadas con válvulas motorizadas que funcionan con termostatos locales montados en la pared.

Todas las temperaturas seleccionadas para las salas pueden fijarse y controlarse de manera independiente; asimismo, los períodos de funcionamiento para todas las zonas, las unidades de tratamiento de aire y las salas de máquinas pueden fijarse según sea necesario.

Todos los controladores locales con microprocesadores tienen una interfaz con una unidad centralizada de control, que está situada en la oficina parroquial. El funcionamiento del sistema es muy sencillo, de modo que el párroco que está encargado del sitio web de la parroquia puede gestionarlo fácilmente. El sistema gestiona un total de 280 entradas de datos y resultados analógicos y digitales.

MOTIVOS DE LA ELECCIÓN

El representante de la propiedad, el cura párroco don Marco Pongiluppi, mostró un interés inmediato por la solución de pozos geotérmicos, principalmente por el ahorro energético que podían garantizar. Después de exhaustivas discusiones, no dudó en adoptar la solución y defenderla frente a aquellos que la consideraban demasiado cara, arriesgada y no suficientemente comprobada. Según cuenta el párroco, “es tarea de todos, especialmente de aquellos que son responsables de un proyecto para la comunidad, utilizar energías renovables y no contaminantes”. Por su parte, el arzobispo Galantino consideró que era muy positivo evitar el impacto

visual y acústico de las unidades tradicionales de enfriamiento de aire así como aislar la maquinaria en salas de máquinas subterráneas separadas y lejos de los espacios habitados. Una ventaja adicional fue el hecho de que no se necesitaba una planta de combustión para la calefacción, lo que evita todo el problema de una potencial prevención contra incendios así como la necesidad de un espacio técnico con acceso independiente y chimeneas.

La solución prevista se comparó con una que utiliza bombas de calor aire-agua reversibles. Para ello, se tuvieron en cuenta las unidades de producción estándar del mismo fabricante.

Teniendo en cuenta el sistema estimado y los costes energéticos en el momento de realizar el análisis (junio de 2004), los costes de funcionamiento para las dos soluciones se muestran en la Tabla 1:

Usuario	Bomba de calor	
	Aire-agua	Geotérmica-agua
Casa de Acogida	16.303,00	12.541,00
Sala Parroquial	13.253,00	10.110,00
Iglesia	1.744,30	1.110,31
TOTAL (Euros/año)	31.300,30	23.761,31

Tabla 1. Comparación entre los costes de funcionamiento de las dos soluciones consideradas para el conjunto de la iglesia, en euros.

El coste estimado de funcionamiento anual de la solución con bombas de calor geotérmicas fue de 7.538,99 menos que la solución convencional con bombas de calor aire-agua, incluso teniendo en cuenta el coste de las bombas de circulación del circuito geotérmico.

El coste de funcionamiento general, incluyendo también la energía de calefacción comprada a la red de calefacción urbana, se estimó para las dos soluciones en 69.833 euros y 61.756 euros respectivamente, con un coste específico de 19,48 y 17,45 euros/m². El orden de magnitud parecía correcto para esta clase de edificio.

El coste de las bombas de calor agua-agua se estimó en 20.000 euros menos que las bombas aire-aire de capacidad similar. Si consideramos que el coste de excavar los pozos se estimó en 80.000 euros y el coste adicional de las tuberías, válvulas y accesorios de las bombas de calor geotérmicas se estimó en 10.000 euros, el tiempo simple de amortización es:

$$(80.000+10.000-20.000)/(31.300-23.761)= 9,28 \text{ años}$$

El tiempo de amortización, que puede no resultar atractivo para un proyecto especulativo, se consideró muy interesante para un proyecto con fines sociales, considerando que la vida útil del equipo mecánico se podía estimar en 25 años, mientras que el circuito geotérmico subterráneo podía durar fácilmente al menos 50 años o más.

El propietario, sin embargo, no quedó convencido sólo por las meras consideraciones económicas. La reducción de emisiones de CO₂, que se podían alcanzar gracias a una mayor eficiencia de las bombas de calor geotérmicas en comparación con una tradicional aire-agua, e incluso más al compararse con una planta de caldera tradicional (local o remota), fue sin duda tomada en cuenta. No obstante, el factor decisivo fue el beneficio en términos de imagen pública que una tecnología valiente y respetuosa con el medio ambiente podría aportar a la parroquia y a la diócesis en general.

EXPERIENCIAS DEL PRIMER AÑO DE FUNCIONAMIENTO

Incluso aunque el complejo se inauguró oficialmente en mayo de 2008, la iglesia y la Casa de Acogida han estado en funcionamiento desde diciembre de 2007, mientras que la Sala Parroquial se finalizó poco antes de su inauguración oficial.

Después de un año de funcionamiento en verano e invierno, el resultado puede considerarse muy claramente positivo y el propietario ha mostrado su satisfacción general con la decisión realizada y el funcionamiento del sistema. En más detalle, la experiencia de este primer año de funcionamiento puede resumirse así:

- ▶ En invierno, las bombas de calor son adecuadas para satisfacer todas las cargas de calefacción hasta una temperatura exterior de 10°C, después de lo cual es necesario conectarse a la red de calefacción urbana. Cuando la temperatura exterior es de 0°C, las bombas dan cobertura entre el 50% y el 80% de la carga de calefacción real. Esto es más que lo que se asumió en la fase de diseño y puede considerarse satisfactorio.
- ▶ La calefacción en invierno es excelente en los tres edificios; especialmente, la calefacción de suelo radiante en la iglesia garantiza un muy buen grado de confort y el sistema mixto de aire primario/panel asegura una rápida consecución de la temperatura de diseño y una muy buena uniformidad de temperatura, con poca estratificación.
- ▶ En verano, el sistema de ventiloinvector funciona muy bien y no causó ninguna queja. Para la iglesia sí que se pronunciaron algunas quejas por humedad alta y una sensación de un insuficiente intercambio de aire que se hicieron obvias cuando la sala estaba llena en los días más húmedos y calurosos. El problema podía resolverse con tan sólo incrementar el flujo de aire primario. Esto es técnicamente posible sin gran dificultad puesto que hay mucho espacio en el sótano para instalar una nueva unidad de tratamiento de aire e instalar la conducción, además la planta de refrigeración podría extenderse así como excavar nuevos pozos geotérmicos. Sin embargo, los costes que esto supondría no estarían justificados especialmente si los comparamos con las pocas horas de carga plena en verano en la iglesia. Por el momento, lo que se ha decidido es incrementar la ventilación natural mediante el control de la apertura de la claraboya y dejar cualquier otra decisión para el futuro. ■