

Las nuevas estaciones de Alta Velocidad de Cuenca Fernando Zóbel y Requena-Utiel.

La instalación geotérmica en la nueva estación de Cuenca Fernando Zóbel como aplicación del concepto de “Estación Sostenible 360°”

The new Cuenca Fernando Zóbel and Requena-Utiel High-Speed Railway Stations. The geothermal installation at the new Cuenca Fernando Zóbel Station as an application of the “360° sustainable station” concept

Raúl Correas García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe de Edificación de la Línea de Alta Velocidad Este. Adif. Madrid (España). rop@ciccp.es

Julio Alberto Rodrigo Vicente. Arquitecto.

Jefe de Arquitectura de Estaciones de la Dirección de Estudios y Proyectos de Adif. Madrid (España). rop@ciccp.es

Resumen: Adif, dentro de su cultura empresarial, tiene como reto la construcción de estaciones de ferrocarril en las que en el proceso de diseño, construcción y gestión se tengan en cuenta criterios sociales, ambientales y económicos, lo cual ha sido englobado en el concepto “Estación Sostenible 360°”. Mediante su aplicación se han construido las estaciones intermedias de Cuenca y Requena-Utiel dentro de la Línea de Alta Velocidad a Levante situadas en la ciudad de Cuenca y Requena. Como ejemplo más representativo de la aplicación de este nuevo concepto de “Estación Sostenible 360°” en la Nueva Estación de Alta Velocidad de Cuenca-Fernando Zóbel se cuenta con la disposición de un sistema de climatización basado en la Energía Geotérmica.

Palabras Clave: Estación de ferrocarril; Alta Velocidad; Energía geotérmica; Sostenibilidad

Abstract: In accordance with its corporate philosophy, the Spanish Railway Infrastructure Administrator (ADIF) is committed to constructing railways stations in such a way that their design, construction and management all meet and adhere to social, environmental and economic criteria. This concept comes under the name of the “360° Sustainable Station” and has been applied in the construction of the Cuenca and Requena-Utiel stations on the Levante High-speed Line in the cities of Cuenca and Requena. The most representative example of the application of the “360° Sustainable Station” concept is the new Cuenca Fernando Zóbel High-Speed Railway Station which is equipped with a heating and cooling system based on geothermal energy.

Keywords: Railway station; High-speed; Geothermal energy; Sustainability

1. Estación sostenible 360° (1)

La Responsabilidad Social y la Sostenibilidad son para Adif parte esencial de la cultura empresarial y están incluidos en la formulación de los valores corporativos y la visión empresarial de Adif, que consiste en llegar a ser una empresa de referencia por su alto nivel de desempeño y rigor en la gestión de la respon-

sabilidad ante la sociedad, en los ámbitos de los gestores de infraestructuras europeos y del sector público español.

Adif se propone contribuir a la sociedad con la máxima rentabilidad social y económica a través del conocimiento y la innovación y teniendo en cuenta el valor de determinadas herramientas clave como la excelencia operativa y la gestión eficiente y eficaz de

los recursos públicos. A través de un proceso de mejora continua, Adif contribuye al equilibrio desde el punto de vista económico, social y ambiental y ofrece un sistema ferroviario eficiente, fiable, cercano, accesible y, por encima de todo, seguro y respetuoso con el medio ambiente.

Entre los objetivos y prioridades estratégicas de Adif, destacan el fomento de entornos seguros para los que trabajan y hacen uso de las infraestructuras e instalaciones ferroviarias y el desarrollo de iniciativas voluntarias para la reducción de riesgos, la preservación del patrimonio ambiental y cultural y la creación de nuevos espacios ecoturísticos, incrementando de este modo el valor para los ciudadanos y las comunidades locales, aportando bienestar, calidad y progreso.

Adif demuestra su compromiso social potenciando la accesibilidad de las estaciones y se posiciona firmemente en el respeto medioambiental a través de la minimización de sus impactos.

El *Proyecto Estación Sostenible 360°* se integra entre las acciones concretas de Responsabilidad Social emprendidas por Adif en el marco de la planificación estratégica y consiste en la creación e implantación de un nuevo concepto de estación que tiene en cuenta criterios sociales, ambientales y económicos en todo el proceso de diseño, construcción y gestión de una estación de ferrocarril.

El sector de la edificación es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, del 60% del consumo de materias primas, del 50% del consumo de agua, el 35% de la generación de residuos y de una parte importante de la ocupación del suelo, así como del desarrollo económico y social de las comunidades afectadas.

La incorporación de criterios de edificación sostenible supone un ahorro que se refleja en el balance de resultados de las empresas. Dichos ahorros se consiguen a través de determinadas estrategias de diseño y arquitectura sostenibles, como son las que se especifican a continuación:

- Un diseño que contemple el uso estratégico de recursos en la ejecución y en la explotación.
- Aprovechar el entorno y los recursos naturales sin dañar el medio ambiente y reduciendo el consumo de recursos no renovables.
- Optimizar el diseño del edificio en busca de la solución formal y constructiva más eficiente.

- Reducir las demandas de iluminación y climatización, tanto en invierno como en verano.
- Reducir costes de construcción y explotación, asegurando las condiciones ambientales y la calidad del edificio.

La actividad de construcción de estaciones de Adif genera por tanto, un impacto cuya gestión y minimización se perfilan como aspecto clave para asegurar la sostenibilidad del funcionamiento de la organización. Las estaciones de viajeros y el entorno de dichas edificaciones constituyen importantes elementos como ecosistemas sociales que definen el entorno urbano, creando espacios en los que usuarios y trabajadores conviven diariamente.

Por otro lado, la integración de criterios de sostenibilidad en la edificación cobra cada vez una mayor relevancia, tal y como pone de manifiesto el Código Técnico de la Edificación, así como la proliferación de normas y estándares para la clasificación y certificación de edificios sostenibles (BREEAM, CAS-BEE, GBTool, Green Globes, LEED, etc.).

Adicionalmente, diferentes estudios demuestran que el incremento de los costes de construcción derivados del diseño de edificios sostenibles se ve superado con creces por los beneficios obtenidos a nivel económico, social y ambiental.

En este sentido, de acuerdo con un estudio realizado por la Fundación Vida Sostenible, el cumplimiento de los requisitos exigidos para la obtención de la certificación LEED, por ejemplo, puede suponer ahorros energéticos de entre el 30% y el 70% respecto a los edificios convencionales. En el uso del agua los ahorros se sitúan entre el 30% y el 50%, y el coste de los residuos generados baja entre el 50% y el 90%. En cuanto a las emisiones de CO₂, se reducen un 35%.

La implantación de lo anteriormente expuesto supone replantear la forma de diseñar, construir y operar las estaciones de ferrocarril de Adif, aprovechando entre otros conceptos las energías renovables para la producción de energía.

2. Estación de Cuenca Fernando Zóbel

Adif, para incluir la ciudad de Cuenca dentro de la Red Ferroviaria de Alta Velocidad, ha construido una nueva estación en el Nuevo Acceso Ferroviario de Alta

Velocidad de Levante. Madrid-Castilla La Mancha-Comunidad Valencia-Región de Murcia dentro del término municipal de Cuenca.

Esta estación se compone:

- Edificio, compuesto de 4 módulos en un mismo nivel y con una superficie de 3.625 m². Los módulos de preembarque y vestíbulo, con una mayor altura, se proyectan como el espacio donde el viajero va a poder acceder a todas las actividades necesarias desde que llega a la estación hasta que accede a los andenes. El edificio lo completan los módulos 1 y 2 desarrollados en forma de "L" y adheridos como servidores del gran edificio principal, conteniendo lo requerido para un equipamiento de estas características: Venta de billetes, Atención al cliente, Locales comerciales, Aseos, Oficinas internas Renfe/Adif, Cafetería, etc. Su estructura esta realizada mediante perfiles metálicos y su cimentación es directa.
- Andenes. La estación cuenta con dos andenes ubicados en un nivel inferior, a los cuales se accede desde el módulo de preembarque. La accesibilidad a los andenes se consigue mediante escaleras fijas, escaleras mecánicas y ascensores. Estos elementos parten del módulo de preembarque y desembocan en uno de los extremos del andén. La longitud total de cada uno de los andenes es de 400 metros, y una anchura de 10 metros, disponiendo estos de cubierta mediante marquesina en aproximadamente 230 metros a contar desde el módulo de preembarque. La parte final de los andenes está descubierta.
- Parking. Consta de 250 plazas para vehículos particulares, y una reserva de terreno como previsión para una posible ampliación de otras 250 plazas más. Además se dispone de una zona de estacionamiento para servicios públicos de autobuses y taxis.
- Vial de acceso. El proyecto contempla la urbanización del entorno inmediato y la construcción de los accesos a la estación, conectándola con la carretera N-320 en el sur de la ciudad de Cuenca. Esta conexión se ha resuelto mediante una glorieta de diámetro interior de 41 m. De la glorieta parte un vial recto que accede a los viales interiores de la estación. Estos viales conforman un anillo viario que permiten los movimien-

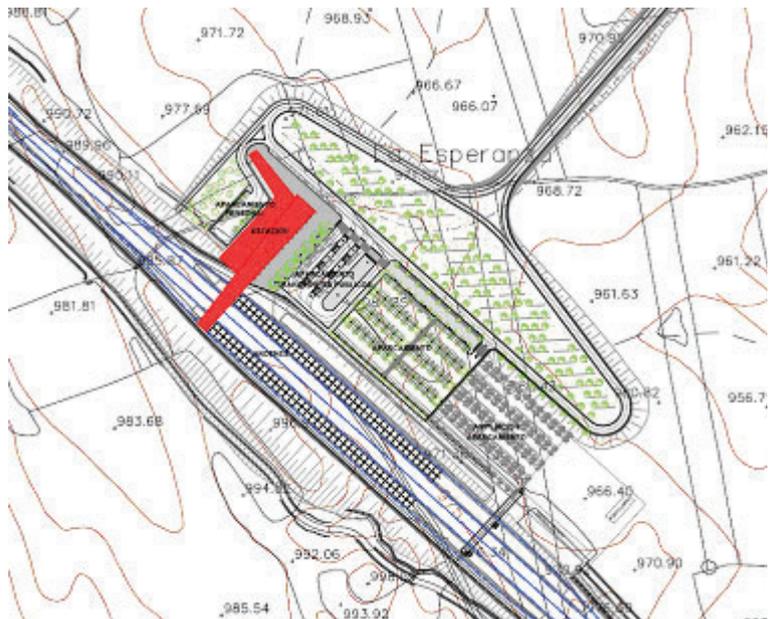


Foto 1. Estación de Cuenca Fernando Zóbel.

tos de vehículos de entrada y salida de la estación.

En el diseño de la Nueva estación de Alta Velocidad de Cuenca Fernando Zóbel se han contemplado criterios de sostenibilidad desde sus tres vertientes: social, económica y medio ambiental. A continuación se van a describir los diferentes criterios aplicados agrupándolos en su vertiente principal:

Fig. 1. Planta de la estación de Cuenca Fernando Zóbel.



1) Criterios de sostenibilidad social:

- a) Como ya se ha comentado, se pretende que los módulos de preembarque y vestíbulo se conviertan en el espacio donde el viajero va a poder acceder a todas las actividades necesarias desde que llega a la estación hasta que accede a los andenes. Para ello se ha proyectando un gran prisma de cristal de 140 m de longitud, de planta con anchura variable de 9,3 hasta 21 m y una altura media de 10 m. Con el fin de dejar diáfano todo el espacio encerrado por estos módulos, la estructura se proyecta de manera que solo hay apoyos en el perímetro. Para ello se disponen dos vigas Vierendel formadas por perfiles metálicos armados con chapas de 40 mm de espesor situados en sentido longitudinal de 6,4 m (vestíbulo) y 10,6 m (preembarque) de canto y 24 m (vestíbulo) y 27,4 m (preembarque) de luz, arriostrados en ambos extremos por la continuación de una viga de características similares y en su parte superior mediante otras vigas armadas, sobre la que se sustentan las cubiertas. En la zona del vestíbulo, la viga descansa sobre pilares de hormigón circulares de 0,8 m de diámetro que a su vez transmiten la carga al terreno mediante cimentación directa. El módulo de preembarque se prolonga por encima de las vías, apoyando sobre el muro de contención de tierras y dos pilas con cabeceros en forma de aspas de hormigón pretensado que se cimentan de forma directa sobre cada uno de los andenes.
- b) Se ha dotado a la estación del servicio Atendo, a través del cual Adif ayuda de forma personalizada a toda aquella persona que lo necesite a realizar todas las actividades dentro de la estación. Para ello se ha dotado de una estancia justo en la entrada de la estación.
- c) En el diseño de los diferentes elementos, y con el fin de facilitar el acceso de los viajeros, se ha pretendido minimizar los movimientos verticales

al mínimo. Consecuencia de ello es que tanto el parking de particulares y servicios públicos y el acceso de peatones, como el resto del edificio de viajeros se encuentran en un mismo nivel, de manera que no es necesario subir ni bajar escaleras para pasar de unos espacios a otro. El único movimiento vertical se realiza para acceder desde el módulo de preembarque a los andenes, al cual se le dota de ascensor, escaleras mecánicas y escaleras fijas.

- d) Todos los elementos de la estación se han proyectado para que se permita a las personas con algún tipo de discapacidad el acceso integral a todos los espacios abiertos al público. Asimismo, se han introducido unos encaminamientos en el pavimento mediante la utilización de baldosas de otro color y rugosidad, de manera que las personas con visión reducida puedan orientarse sin necesidad de ayuda. Estos siguen una normativa estándar reconocida por estas personas. Asimismo, para personas con movilidad reducida se han dotado a los aseos públicos de uno específico para minusválidos, y se les facilita la utilización del resto de servicios que ofrece la estación, como por ejemplo la adaptación de un puesto en el local de venta de billetes.
- e) El borde de andén es un lugar peligroso debido a la simultaneidad de personas esperando y trenes estacionando o pasando. Con el fin de delimitar este espacio se han introducido dos elementos de seguridad de acuerdo a la normativa técnica vigente en la actualidad. Por un lado una franja de 60 cm de anchura formada por baldosas rugosas de color diferenciado con el resto del andén y una banda amarilla de 10 cm de ancho (2).
- f) La estación se ha dotado de los sistemas más avanzados de información al viajero, de manera que a través de teleindicadores, monitores y mensajes de audio se informa del estado de todos los trenes que van a parar en la estación de

Fig. 2. Perfil transversal estación de Cuenca Fernando Zóbel.



forma automática. Además, está conectada la iluminación de los andenes con este sistema, provocando un aumento en la iluminación que actúa como aviso en la entrada de cada tren a la estación.

- g) La estación también se encuentra dotada con el servicio DIALOGA, a través del cual se facilita la comunicación entre las personas sordomudas y el personal de atención al viajero mediante videoconferencia con personal especializado.

2) Criterios de sostenibilidad económica:

- a) Como ya se ha comentado, los módulos principales de la estación (vestíbulo y preembraque), están realizados mediante un gran prisma de cristal, el cual facilita la iluminación natural en todo el espacio pudiendo prescindir de iluminación artificial a lo largo de todo el día durante amplias épocas del año. Este diseño, muy útil en invierno, complica la climatización de estas estancias en verano, lo que llevó a diseñar y calcular unos elementos que permitiesen una entrada suficiente de luz natural en invierno, pero al mismo tiempo evitasen un soleamiento excesivo en verano. Estos elementos están compuestos de lamas de acero plegadas y micro perforadas que se anclan en las vigas vierendel de la estructura y cubren toda su superficie.
- b) Para climatizar el edificio de la estación se ha optado por un sistema de elevada eficiencia energética, el cual se basa en la utilización de un campo geotérmico. Más adelante, en este artículo se detallará pormenorizadamente.
- c) Para un mantenimiento más eficientemente de toda la estación, se ha incorporado un sistema de control automatizado (SCADA) que realiza y registra todas las operaciones dentro de la estación. Por ejemplo, con este sistema se puede encender y apagar en función del día del año la climatización sin necesidad de tener personal en la estación. Al mismo tiempo, se registran los parámetros de esa operación de forma que tras un análisis se pueden llegar a reprogramar para aumentar su eficiencia. Además controla los sistemas de iluminación, depósitos de agua, riego, apertura y cierre de puertas, sistemas de elevación de personas, etc.
- d) Para minimizar los consumos y poderse ajustar a la distinta normativa, el sistema de iluminación permite ajustar su intensidad actuando directamente sobre



Foto 2. Estación Requena-Utiel.

el flujo de la corriente en función de las condiciones de iluminación ambiental o de los parámetros programados en el sistema de control.

3) Criterios de sostenibilidad ambiental:

- a) Como material reciclado, se ha utilizado la confección de los aglomerados a partir del caucho de antiguos neumáticos.
- b) Se han colocado paneles solares para producción de agua caliente sanitaria.
- c) Se ha dispuesto un aljibe que permite almacenar agua de lluvia para su posterior utilización como agua de riego de las zonas verdes.

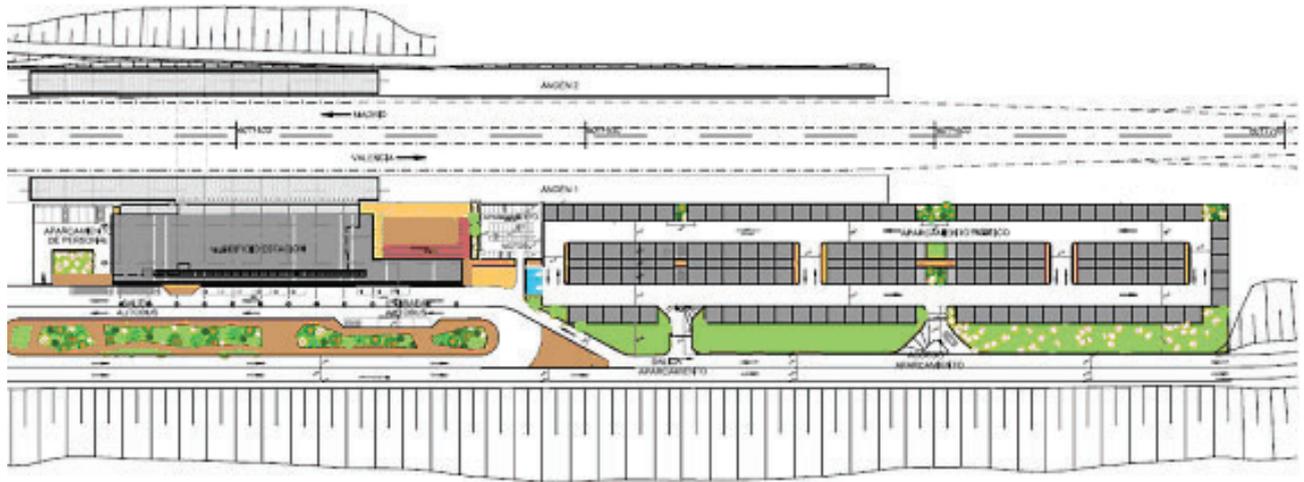
Estación Requena-Utiel

La otra estación intermedia situada en el trayecto de Madrid a Valencia del Nuevo Acceso Ferroviario de Alta Velocidad de Levante se sitúa en el término municipal de Requena y dará servicio a toda la comarca, situando a sus habitantes aproximadamente a 20 minutos de Valencia y a 85 de Madrid.

La estación se compone de:

- Un edificio de una superficie en planta de aproximadamente 1.200 metros cuadrados. Está formada por tres volúmenes de diferentes alturas conectados entre sí. El primero, más alto y cuya cubierta protege a los otros dos es el vestíbulo, desde donde el viajero va a poder acceder a todas las actividades necesarias desde que llega a la estación

Fig. 3. Planta de la Estación Requena - Utiel.



hasta que accede a los andenes. En el segundo, y que transcurre adosado a ambos lados del primero desde la entrada principal hasta el acceso a los andenes, se sitúan los locales destinados a la venta de billetes, aseos y cafetería y demás usos comerciales. Finalmente el tercero, donde se ubican las dependencias de personal y cuartos técnicos necesarios para el mantenimiento y explotación de la estación.

- Cuenta con dos andenes de 400 metros de longitud útil y 8 metros de anchura, dotados de marquesinas de protección frente a inclemencias meteorológicas de 100 metros de longitud. El acceso a los andenes desde el edificio de viajeros se efectuará mediante un paso inferior provisto de escaleras y ascensores.
- Dispone de un parking público de 250 plazas, además de la existencia de zonas de paradas específicas para el transporte público.
- Se ha realizado la ampliación del ramal de acceso desde la A-3 ya existente, mejorando de esta manera su acceso.

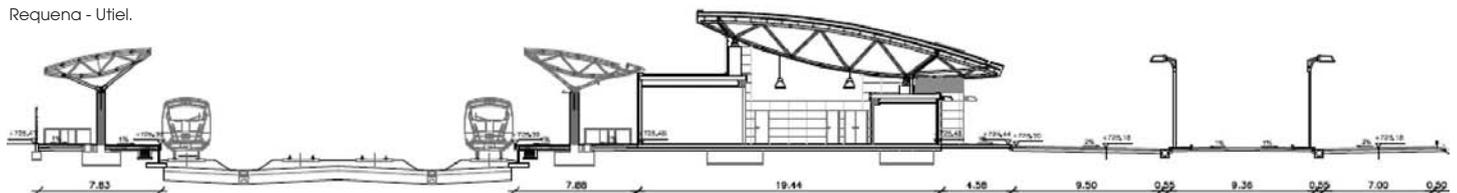
Desde su diseño, al igual que en la estación de Cuenca, se han contemplado criterios de sostenibili-

dad desde sus tres vertientes: social, económica y medio ambiental. A continuación se van a describir los diferentes criterios aplicados agrupándolos en su vertiente principal:

1) Criterios de sostenibilidad social:

- a) Se ha dotado a la estación del servicio Atendo, a través del cual Adif ayuda de forma personalizada a toda persona que lo necesite a realizar todas las actividades dentro de la estación. Para ello se ha dotado de una estancia justo en la entrada de la estación.
- b) En el diseño de los diferentes elementos, y con el fin de facilitar el acceso de los viajeros, se ha pretendido minimizar los movimientos verticales al mínimo. Consecuencia de ello es que tanto el parking de particulares y servicios públicos, como el acceso de peatones, el edificio de viajeros y los andenes se encuentran en un mismo nivel, de manera que, salvo el acceso al andén opuesto al lado de la estación, no es necesario subir ni bajar escaleras para pasar de unos espacios a otro. Para acceder al andén opuesto es necesario acceder a un paso bajo las vías y subir des-

Fig. 4. Perfil transversal de la Estación Requena - Utiel.



pués, para lo que se han dispuesto ascensores y escaleras fijas.

- c) Al igual que en la estación de Cuenca, se han dispuesto los elementos necesarios para que las personas con algún tipo de discapacidad tengan acceso integral a todos los espacios abiertos al público, se ha señalado de la misma manera el borde de andén, se la ha dotado de los sistemas más avanzados de información al viajero, cuenta con el servicio dialoga.

2) Criterios de sostenibilidad económica:

- a) Para un mantenimiento más eficientemente de toda la estación, al igual que la estación anterior, se ha incorporado un sistema de control automatizado de las instalaciones (SCADA) que realiza y registra todas las operaciones dentro de la estación, un sistema de regulación automática de la instalación de iluminación.

3) Criterios de sostenibilidad ambiental:

- a) Se han colocado paneles solares fotovoltaicos en cubierta del edificio que pueden generar hasta 13KW, así como paneles para el ACS de la estación.
- b) Se ha dispuesto un sistema de reciclaje integral de agua, de forma que se busca una reutilización máxima. De esta manera, el agua utilizada para los lavabos y duchas es reutilizada como agua para inodoros, la cual después de su depuración se utiliza como agua de riego para el jardín. El agua de lluvia es recogida en un aljibe para su posterior utilización como agua de riego.

4. Diseño y ejecución de la instalación geotérmica en la estación de Cuenca-Fernando Zóbel

La generación, transporte y uso de la energía es una de las actividades del hombre con mayor repercusión sobre el Medio Ambiente. Frente a las fuentes convencionales no renovables, las energías renovables se basan en la explotación de recursos limpios e inagotables que nos proporciona la naturaleza, y tienen un impacto prácticamente nulo y siempre reversible.

Según el Plan de Energías Renovables 2005-2010 aprobado por Consejo de Ministros el 26 de agosto de

2005, el 12,1% del consumo global de energía en 2010 será abastecido por fuentes renovables, contribuyendo a la producción del 30,3% del consumo bruto de electricidad.

Por otra parte, el Código Técnico de la Edificación establece en su Documento Básico HE-4, una exigencia de contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, y en el HE-5, una exigencia de incorporación de sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos cuando, para unos usos indicados, se superen unos límites de aplicación establecidos.

Las energías renovables cuyo aprovechamiento podría ser objeto del proyecto de diseño de la nueva estación de Alta Velocidad de Cuenca son las siguientes:

- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Biomasa y biocombustibles.
- Energía geotérmica.

En el caso concreto de la energía geotérmica se parte de las siguientes consideraciones teóricas:

- Los trabajos de perforación necesarios para enterrar las tuberías por las que circula el agua aumentan en gran medida los costes iniciales de implantación. Los costes de instalación están entre los 2.000 y 3.000 /kW.
- Por cada kW de energía eléctrica consumida en el sistema geotérmico se generan 4,5 y 4kW de refrigeración y calefacción respectivamente. Con la geotermia se puede ahorrar hasta un 50% en el consumo eléctrico respecto al sistema tradicional.
- Los periodos de retorno de la inversión pueden estar entre los 6 y los 11 años.

De esta manera este tipo de instalaciones, a priori, genera las siguientes ventajas:

- Disminución de la factura energética de las estaciones.
- Consolidación de la imagen de Adif y de la calidad de sus servicios, así como su imagen como empresa comprometida con el medio ambiente, la calidad y el desarrollo sostenible.
- Minimización del consumo de recursos limitados (no renovables).

- Reducción de emisiones de CO₂ por el uso de combustibles fósiles, así como de la contribución al efecto invernadero.
- Las energías renovables contribuyen por su carácter autóctono a disminuir la dependencia de nuestro país de los suministros externos, aminoran el riesgo de un abastecimiento poco diversificado y favorecen el desarrollo tecnológico y la creación de empleo.

Para las correctas condiciones de diseño, y en función del emplazamiento de la obra, en el proyecto constructivo se atendieron los siguientes parámetros:

- Temperatura exterior en verano: 33 °C.
- Humedad relativa exterior: 52 %.
- Altitud: 949 m.
- Latitud: 40° 05.
- Viento dominante: 11,7 Km/h
- Temperatura exterior en invierno: 7 °C
- Temperatura interior en verano: 24 °C
- Humedad relativa interior: 55 %
- Temperatura interior en invierno: 20 °C

La carga térmica del edificio se estimó en 570kW frigoríficos aproximadamente adaptándose este valor atendiendo a los acabados finales. En el Cuadro 1 se refleja los valores obtenidos para el vestíbulo y las dependencias que conforman la Estación de Cuenca.

El objetivo para la correcta climatización de la Estación de Cuenca fue seleccionar un sistema que produzca un bajo consumo eléctrico y disponga de un alto rendimiento. Para ello se decidió dotarlo de una climatización geotérmica.

La clasificación del sistema escogido corresponde a, según temperatura, Geotermia a muy baja temperatura (18°C), y según Circuito de Intercambio, Geotermia por Circuito Cerrado de pozos verticales.

En nuestro caso la tipología del terreno existente en la zona del Proyecto se encuentra situada en una zona de transición en afloramiento entre calizas dolomíticas del Cretácico Superior y conglomerados calcáreos del Oligoceno, pudiendo aparecer entre ambas margas y arcillas con intercalaciones de yesos. Las calizas mencionadas suelen presentar bastante carstificación, con las formaciones típicas de dicho fenómeno.

Atendiendo a la tipología del terreno descrito anteriormente, y sin hacer ningún ensayo de cam-

Cuadro 1.

VESTIBULO	473.804
VENTA DE BILLETES	18.277
LOCAL COMERCIAL 1	14.093
LOCAL COMERCIAL 2	4.151
LOCAL COMERCIAL 3	4.220
SALA VIP	7.209
SALA DE INTERVENTORES	3.301
CENTRO DE CONTROL	4.272
OFICINA VENTA BILLETES	2.381
OFICINA ADIF	7.016
OFICINA RENFE	5.740
CAFETERIA	19.280
CONSIGNA Y ASEOS PÚBLICOS	7.110
VESTUARIOS PERSONAL ESTACIÓN	6.841
VESTUARIOS PERSONAL EXTERNO	3.056
TOTAL	570.753

po, se obtiene un valor de transferencia térmica del terreno de 55 w/ml. Para el aporte de la carga térmica del edificio se precisarán por lo tanto 12.000 ml circuito de intercambio geotérmico. Para un mayor aprovechamiento del subsuelo, la profundidad de los pozos deberá alcanzar los 150 m por lo que se precisan de 80 unidades. El conjunto de sondas se localiza bajo el aparcamiento exterior. Todos ellos van conectados entre sí mediante colectores instalados en arquetas de registro ubicadas bajo acera. La interdistancia horizontal entre ellos es de al menos 6 m de radio.

Además, se precisa de una bomba de calor geotérmica conectada a los pozos descritos para la obtención del agua fría y caliente para el abastecimiento hidráulico de las climatizadoras y unidades interiores. Debido a la gran carga térmica de la edificación se dividió la producción en tres unidades de 145, 145 y 90 kw frigoríficos, todas ellas localizadas en una sala técnica para tal efecto. La primera de las unidades se encarga de la climatización del vestíbulo, la otra bomba de 145 kw suministrará a la zona administrativa del edificio y la última de 90 kw acomete al suelo radiante/refrigerante del vestíbulo.

Desde ésta Sala Geotérmica partirán los circuitos hidráulicos que se encargarán de distribuir el fluido a las diversas unidades interiores y climatizadoras que se reparten a lo largo de la edificación, al igual que

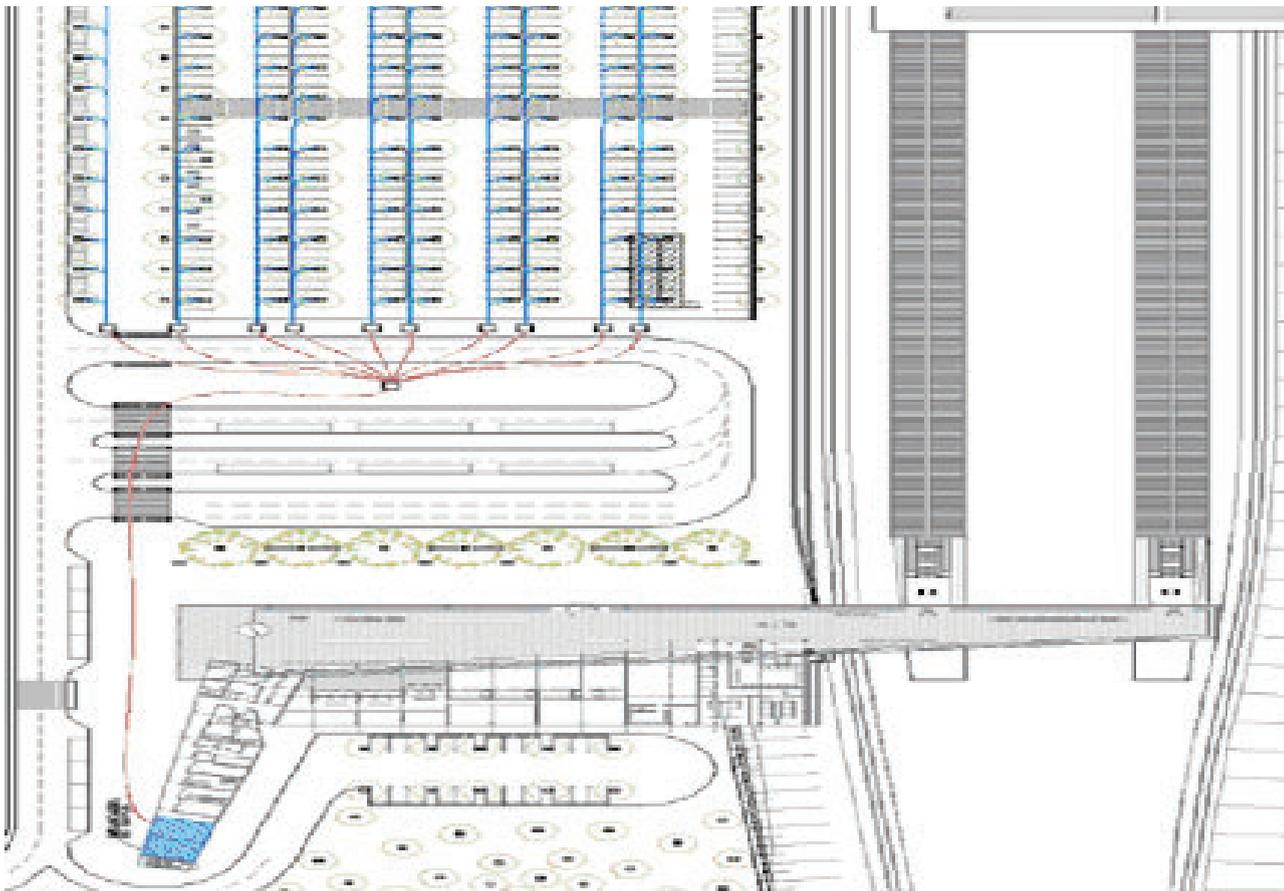


Fig. 5. Campo geotérmico situado en el Parking.

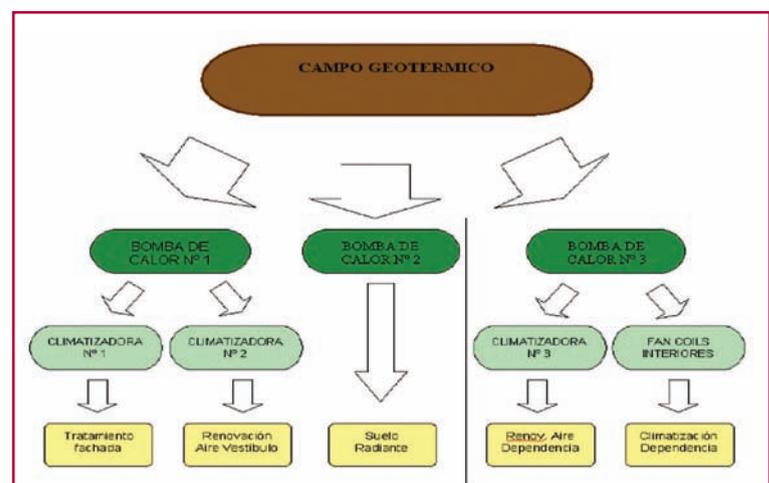
al suelo radiante. Para el correcto funcionamiento del conjunto es necesaria la dotación de un conjunto de bombas encargadas de aportar la presión necesaria al conjunto para la distribución del líquido hacia las unidades interiores.

Para el control, gestión y desconexión del sistema fuera de las horas de desarrollo de la actividad, se previó un sistema de control centralizado, el cual gestiona, entre otros, la puesta en marcha y desconexión de la instalación, así como controla los valores de temperatura de los locales. Esta solución se apoya en disponer de un sistema centralizado de regulación y control de todos aquellos parámetros que se consideran imprescindibles, de forma que como objetivo se logre:

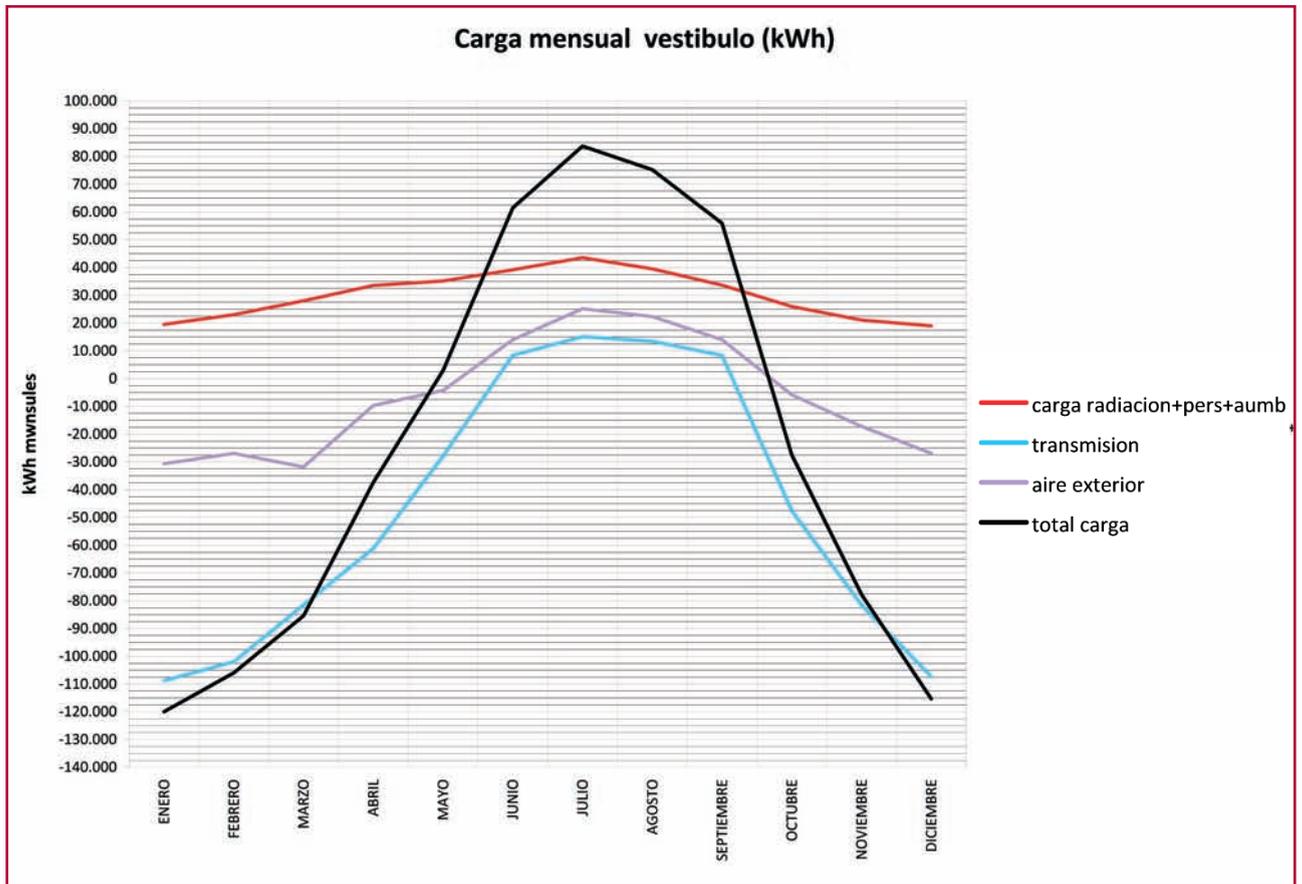
- Racionalización y reducción del coste energético.
- Conducción y manejo continuo de las instalaciones, de forma automática y centralizada.
- Realizar un mantenimiento preventivo y programado, así como la inmediata localización de cualquier avería.

Todos los proyectos de ejecución sufren modificaciones para ajustarse a las nuevas necesidades e incidencias que surgen durante la ejecución de la obra. Pero en el caso de una instalación geotérmica de gran tamaño como la que nos ocupa la adaptación del proyecto a las condiciones reales de la obra es especialmente importante, ya que su coste princi-

Fig. 6. Esquema de funcionamiento de la distribución del sistema de la Climatización.



Gráfica 1. Distribución anual de las necesidades de climatización mensual.



pal es el campo geotérmico y éste normalmente se diseña inicialmente en base a mapas geológicos cuya precisión es orientativa. Una variación en las condiciones del terreno con respecto a las hipótesis de partida puede suponer una repercusión económica importante. A continuación vamos a repasar el proceso de revisión y redacción del proyecto modificado, finalizando con los hechos más destacables durante la ejecución y puesta en marcha de la instalación (3).

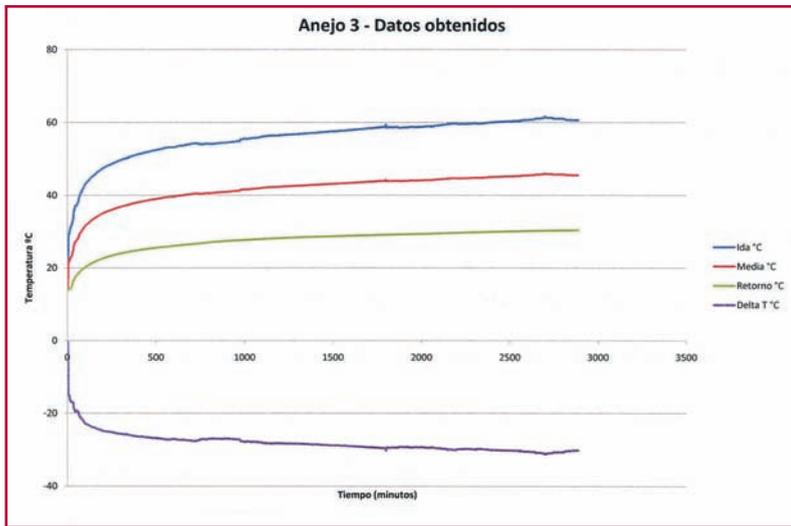
4.1. Revisión del cálculo de las cargas térmicas del edificio

La estación tiene un gran volumen a climatizar muy sensible a las hipótesis de cálculo, ya que los cerramientos del vestíbulo son principalmente de cristal, con unos elementos de sombra de diseño, por lo que el calor por radiación tiene una gran incidencia en la potencia necesaria y por tanto en el balance energético en el campo geotérmico. El recálculo se realizó reconsiderando los tres parámetros fundamentales para determinar las cargas térmicas: la renovación de

aire, el factor de sombra y el factor solar del cristal. Los dos primeros parámetros poco pueden ser alterados sin variar la funcionalidad del edificio en el primer caso ni la estética en el segundo. Así que se decidió instalar el vidrio con el mejor factor solar. De esta forma se consiguió pasar de una instalación con claro predominio de las necesidades de refrigeración a una situación mucho más compensada y con menores pérdidas energéticas. Las potencias de cálculo se redujeron a 464 kW en invierno y a 423 kW en verano, con lo que la energía total intercambiada con el terreno presentó un balance final de -2.009 kWh (sobre un total de 1.271.303 kWh producidos en invierno y 594.688 kWh en verano).

4.2. Revisión del cálculo del campo geotérmico. Test de respuesta térmica

Para el diseño del campo geotérmico los dos parámetros fundamentales son las cargas del edificio, que ya hemos comentado, y la capacidad del terreno de refrigerar o calentar el fluido que circula



Gráfica 2 y 3.
 Respuesta del ensayo TRT.

por el mismo. Esta propiedad viene caracterizada por la conductividad térmica del pozo, que integra las características del terreno en toda su profundidad (las más importantes) y las geométricas y de los materiales utilizados para la ejecución del intercambiador (diámetros de pozo y tubería, material de sellado, etc.). Por todo ello el recálculo se basa en un ensayo in situ - denominado test de respuesta térmica o geotérmica (TRT) - sobre un pozo a ser posible de las mismas características que los proyectados. El ensayo se realiza inyectando calor a través de un fluido en condiciones similares a las previstas de funcionamiento, hasta que se estabiliza el sistema, determinando a partir de la evolución en el tiempo de las temperaturas de entrada y salida del fluido el parámetro buscado. Por otra parte, durante la eje-

cución de la perforación se obtendrán otros datos fundamentales que pueden condicionar el proyecto: las características reales del terreno pueden requerir de procedimientos de perforación diversos, con costes muy variables, tanto por los equipos de perforación necesarios como, sobre todo, por el tiempo necesario para ejecutar el campo geotérmico, especialmente en un caso como el que nos ocupa en el que el tiempo de ejecución era una variable de gran importancia.

Se realizó un primer ensayo con unos resultados adecuados, mejorando la hipótesis del proyecto, aunque también las condiciones fueron muy favorables (periodo invernal con mucho frío y especialmente lluvioso), por lo que al detectar agua en el terreno se consideró conveniente asegurar el resultado con un segundo ensayo. En la primera perforación se tuvieron numerosos problemas, sobre todo a partir de 100m de profundidad, por lo que ya empezó a plantearse la conveniencia de hacer un mayor número de pozos a menor profundidad.

Con el segundo ensayo los resultados fueron todavía mejores, lo que podía influir incluso en el diseño del pozo (pasar a doble circuito con materiales de relleno de conductividad mejorada, menor longitud total de perforación, etc.). Sin embargo se tomó la decisión de empezar a trabajar sobre la hipótesis más conservadora y aprovechar más adelante uno de los pozos ejecutados para realizar un tercer ensayo. El tercer TRT, realizado en condiciones más secas y con temperaturas primaverales proporcionó un valor muy similar al primero, por lo que finalmente se mantuvo el diseño realizado con la hipótesis más conservadora, ejecutando 9.000 m de campo geotérmico con 90 pozos de 100 m de profundidad.

El diseño de la red de tuberías también se alteró ligeramente con respecto al proyecto, adoptando una distribución mediante retorno invertido en lugar de radial con válvulas de equilibrado, requiriendo más longitud de colector pero menos problemas de mantenimiento, al eliminar la valvulería, y menor anchura de zanjas en una zona saturada de instalaciones enterradas.

La estimación final del campo geotérmico ejecutado es que en un periodo de cálculo de 100 años el enfriamiento de la temperatura media del terreno no supere los 0.4°C, obteniendo un COP medio del sistema en el periodo invernal de 3,5 y en el periodo estival de 4,4.

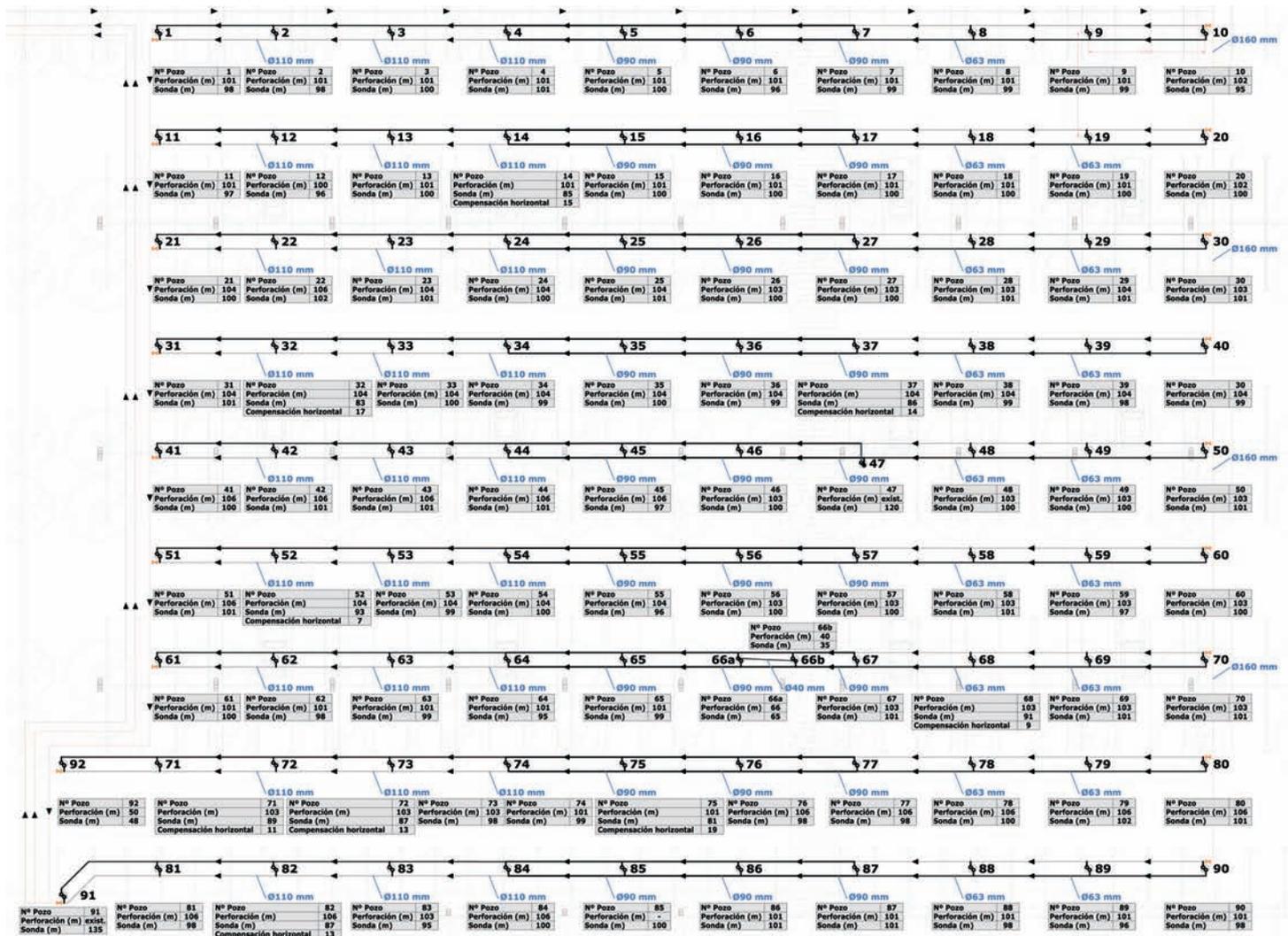


Fig. 7. Distribución de pozos en el campo geotérmico ubicado en el Parking.

4.3. Revisión del esquema de principio

El esquema de principio del proyecto proponía un doble colector agua fría/agua caliente con el fin de poder satisfacer simultáneamente demandas de frío y calor en periodos intermedios, siendo la distribución por zonas mediante circuitos a dos tubos. Estaban previstas tres bombas de calor (dos grandes y una pequeña) con compresores de tipo scroll.

Manteniendo estas premisas se ha rediseñado la sala de máquinas considerando como opción más equilibrada la instalación de 4 bombas de calor NKW130 de Envision con dos compresores tipo scroll por equipo, de forma que se dispone de 8 escalones para la modulación de potencia, pudiendo realizar cualquier combinación de modo de funcionamiento

frío/calor entre los 4 equipos según las necesidades del edificio. El otro cambio destacable ha sido la introducción de un segundo climatizador que permita zonificar el vestíbulo, independizando la zona de acceso a vías (pasarela) del resto del vestíbulo. Las demás premisas se han mantenido.

4.4. Ejecución y puesta en marcha

La perforación de los pozos se inició con la precaución de que se debían hacer a la profundidad marcada tras el estudio del terreno y en el plazo previsto debido a que era una actividad crítica dentro del plan de obra del conjunto de la estación. Por ello, primero se inició la perforación con una máquina de roto percusión con extracción de detritus mediante circulación inversa.

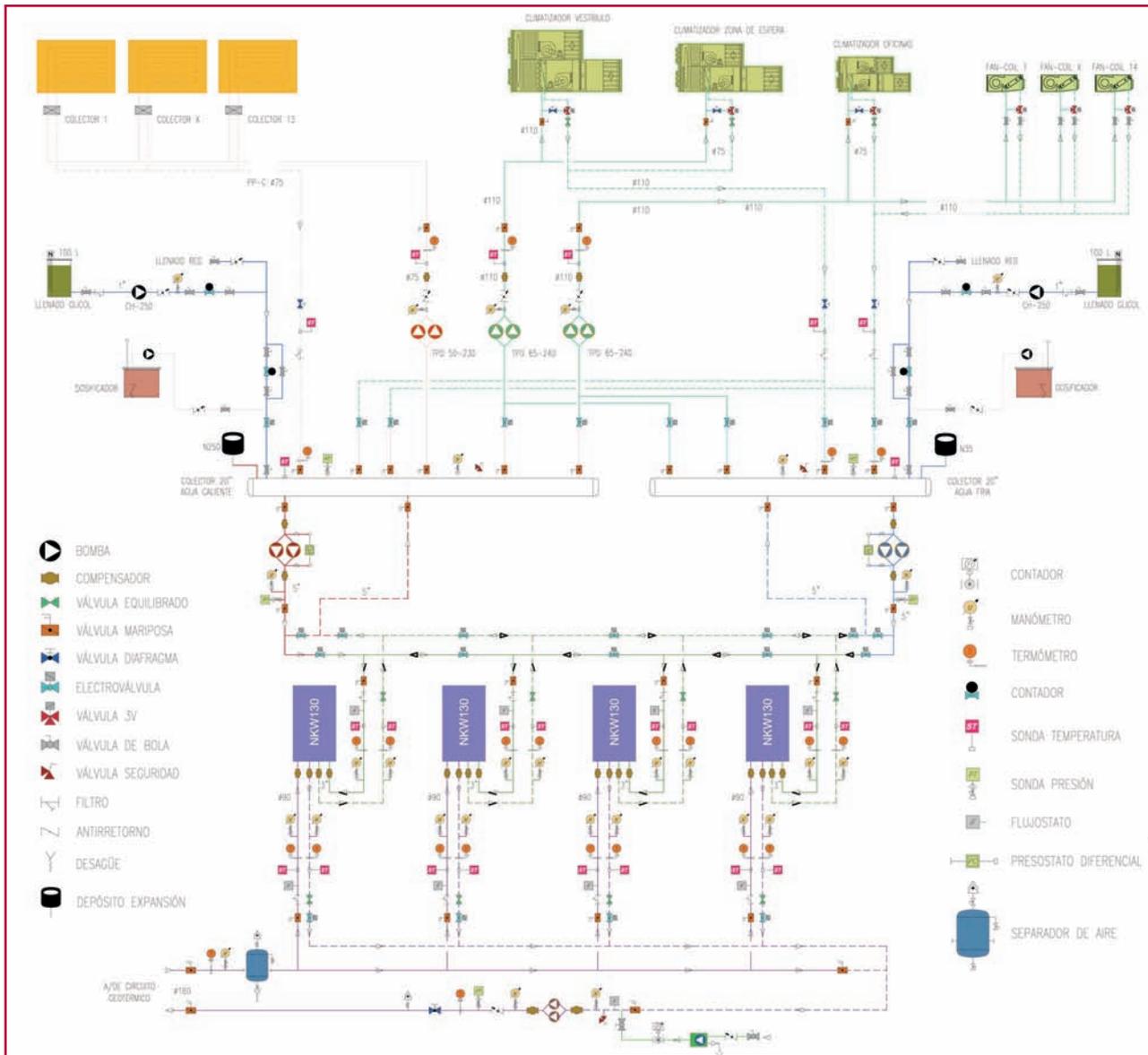


Fig. 8. Esquema del sistema de climatización.

Aunque rápidamente se vio que la perforación no tenía ninguna dificultad técnica, los rendimientos obtenidos no eran los apropiados ya que se perforaba un pozo a la semana. Con el fin de mejorar el rendimiento había dos opciones: introducir más máquinas o recurrir a otro tipo de perforación. Con la primera opción se tropezó con el problema de que este tipo de máquinas no es muy abundante en el mercado y debido a las ocho semanas que teníamos de plazo deberíamos tener en obra un número mínimo de 11.

La segunda opción consistía en probar la validez técnica de una perforación convencional y qué rendimiento se obtenía. Tras iniciar la perforación se



Foto 3 y 4. Perforaciones de los pozos del campo geotérmico.

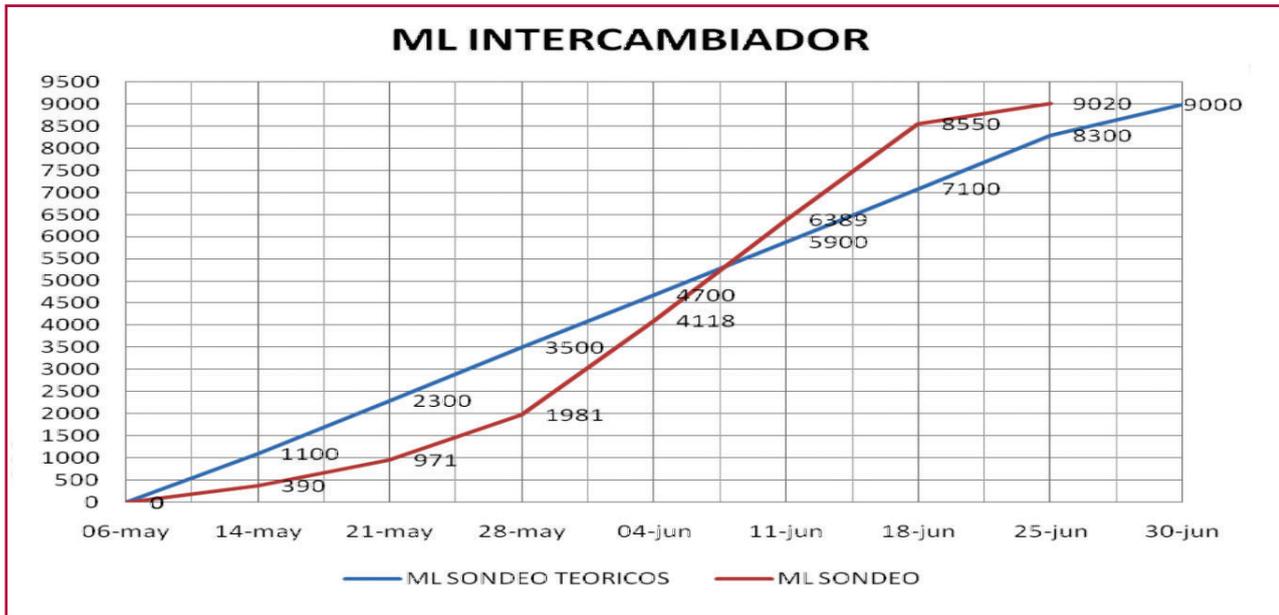


Gráfico 4. ML de intercambiador perforados y Rendimientos obtenidos en nº de pozos.

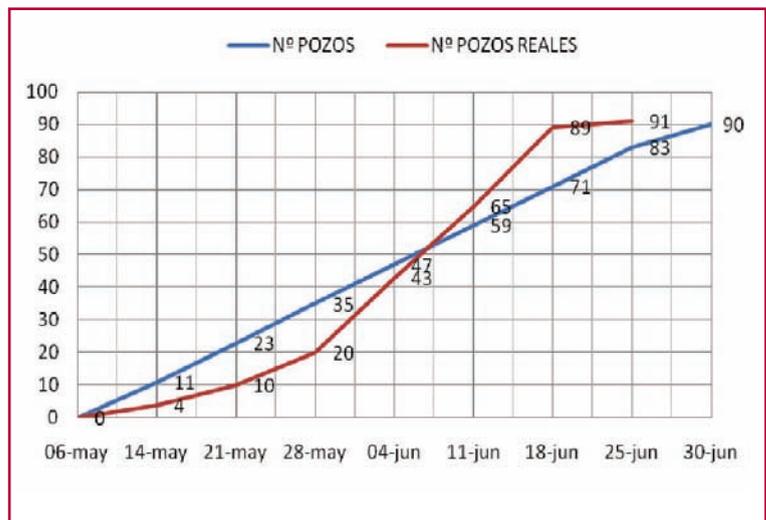
comprobaron en los dos primeros taladros que no se encontraban excesivas complicaciones técnicas durante la perforación y los rendimientos mejoraban mucho, en torno a un taladro diario, por lo que se decidió retirar la primera perforadora y acabar los trabajos de perforación con cuatro maquinas de perforación directa.

Se han encontrado problemas puntuales para introducir la sonda hasta el fondo del pozo, lo que ha sido cuantificado en el plano adjunto, compensándose en horizontal la longitud de tubería restante para evitar el desequilibrio hidráulico. En total se han compensado 118 m en horizontal, lo que supone un 1,3% del total.

Cada pozo se da por terminado cuando se pasa la prueba de estanqueidad, que consiste en someter a 8 bar la tubería de cada pozo durante 30 minutos, reduciendo a continuación la presión a 4 bar durante 30 minutos. No ha habido que rechazar ningún pozo, realizándose una prueba final con la red de distribución terminada para validar el circuito completo del campo geotérmico.

En cuanto a la sala de máquinas, su ejecución es bastante similar al de una instalación convencional, con un tamaño de bombas de calor muy inferior para la misma potencia. El resto de la instalación no se diferencia de una instalación tradicional.

La principal singularidad de la sala de máquinas de una instalación geotérmica es la existencia del circuito del campo geotérmico, que en este caso



está realizado en polietileno, a excepción de una pequeña parte en la sala de máquinas que se ha ejecutado en PP-R. Este circuito incorpora una bomba accionada por variador, proporcionando un caudal variable en función del número de bombas de calor en funcionamiento. El material utilizado es capaz de absorber las variaciones de volumen por cambio de temperatura sin sufrir variaciones de presión superiores a 0,5 bar, lo que hace innecesaria la colocación de un vaso de expansión.

Finalmente el sistema de control y adquisición de datos (SCADA) requiere de algunos elementos de campo adicionales al de una instalación convencional, y su adecuada puesta en marcha es

fundamental para el aprovechamiento energético de la instalación. En estos momentos ya se ha arrancado la instalación y se están haciendo las comprobaciones necesarias antes de introducir la parametrización inicial en el SCADA. La mayor dificultad que nos encontraremos es la optimización de los periodos intermedios, en los que puede ser necesario el funcionamiento simultáneo de bombas en modo invierno y verano. Por otra parte juega un papel fundamental el suelo radiante, ya que en el periodo invernal la red de conductos del vestíbulo ha sido diseñada con unas velocidades de impulsión menores de lo habitual considerando que el gradiente térmico es igualmente inferior debido a la temperatura del suelo. De hecho está previsto que durante todo el periodo en el que se requiera producción de calor en el vestíbulo el suelo radiante funcione día y noche sin parar, ya que su inercia térmica es muy elevada.

El seguimiento durante el primer ciclo completo invierno/verano permitirá un ajuste correcto del sistema de control y a partir de este momento se podrá evaluar con mayor precisión el periodo de retorno de la inversión que como veremos a continuación se ha estimado aproximadamente entre 8 y 9 años.

4.5. Análisis económico

En este apartado se pretende analizar los costes de instalación, mantenimiento y explotación instalados en la nueva Estación de Alta velocidad de Cuenca. Al mismo tiempo se analizan los mismos costes de una instalación convencional en el mismo edificio, comparándose posteriormente.

Para la realización del estudio presente se parte del consumo energético total de la estación para la climatización, que es de **1.865.991 kWh térmicos/año**. Este dato está obtenido de las modelizaciones comentadas anteriormente.

Entre las diferentes alternativas de sistemas de climatización que se podrían haber utilizado, se ha elegido para este estudio comparativo la instalación de unas bombas de calor convencionales aire-agua en el exterior del edificio que se utilizarían en los meses de verano y una caldera de gasoil para los meses de invierno con una potencia de 466 kW.

Para comparar los consumos energéticos de ambos sistemas es necesario conocer los rendimientos



Foto 5. Bombas de climatización instaladas.

(COP) de las bombas de calor, geotérmica y convencional, así como el rendimiento de la caldera de gasoil. En nuestro caso, adoptamos para la bomba de calor geotérmica un COP = 4, suponemos que la bomba convencional tiene un COP = 2,5 y que el rendimiento de la caldera es de 0,9. Con estos datos podemos obtener el consumo energético de los diferentes sistemas, considerando que:

- El COP (coefficient of performance) es un parámetro que mide el rendimiento de la bomba de calor.

Foto 6. Conexión de la sala de máquinas con el campo geotérmico.



Cuadro 2.			
Energía eléctrica con campo geotérmico (todo el año)			
COP	4	466497,8632	kWh ELECTRICOS
PRECIO kWh	0,10 €	46.694,17 €	
Energía eléctrica con equipos convencionales (verano)			
RATIO VERANO/TOTAL		0,319	
CONSUMO VERANO		594688	kWh TÉRMICOS
COP	2,5	237875	kWh ELÉCTRICOS
PRECIO kWh	0,10 €	23.810,16 €	
Coste gasoleo con calderas (invierno)			
RATIO INVIERNO/TOTAL		0,681	
CONSUMO INVIERNO		1271303	kWh TÉRMICOS
HORAS FUNCIONAMIENTO		2605	H
GASTO		53,2	l/h
GASÓLEO CONSUMIDO		138592	L
PRECIO GASÓLEO		0,73 €	
COSTE TOTAL		101.172,02 €	

Cuadro 3.		
	Instalación	Mantenimiento
Campo geotérmico	780.000	0
Bombas geotérmicas	185.000	4.000 €/AÑO
Distribución de calor	No se tiene en cuenta puesto que su coste es similar al que necesitaríamos en una instalación convencional	
Distribución de frío		
TOTAL	965.000	4.000 €/AÑO

Cuadro 4.		
	Instalación	Mantenimiento
Depósito gasoil	40.000	1.000 €/AÑO
Calderas (Pn=466 kW)	60.000	3.000 € /AÑO
Sistema generación de frío	120.000	4.000 €/AÑO
Distribución de calor	No se tiene en cuenta puesto que su coste es similar al que necesitaríamos en la instalación geotérmica	
Distribución de frío		
Total	220.000	8.000 €/año

Es el cociente de dividir el calor útil suministrado por la bomba de calor entre el consumo eléctrico del compresor.

- El consumo de la caldera se calcula a través a la fórmula:

$$\text{consumo} \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{P_{\text{util}} \left(\frac{kcal}{h} \right)}{P_{ci} \times \text{rendimiento} \times \text{densidad}}$$

siendo:

P_{ci} gasóleo = 10200 kcal/kg

Densidad = 0,86

Obtenemos el cuadro 2.

Los costes de la instalación geotérmica son los reflejados en el cuadro 3.

Los costes de la instalación convencional estimados son los indicados en el cuadro 4.

En el cuadro 5 se muestra un comparativo con los datos de los dos sistemas.

De los datos obtenidos, y comparándolos con el rendimiento de una caldera de gasoil y un sistema de refrigeración convencional, se extrae que el periodo de retorno de la inversión, definido como el tiempo transcurrido hasta que se produce el equilibrio en el gasto producido por ambas instalaciones, se produce antes del 8º año, como muestra el gráfico 5.

Cuadro 5. Cuadro comparativo Geotermia-Convencional		
	Geotermia	Convencional
Emisiones de CO2 (Tn/año)	231	478
Emisiones de CO2 (Tn/15 años)	3.464	7.171
Costes inversión	965.000 €	220.000 €
Mantenimiento anual	4.000 €	8.000 €
Gastos energéticos anuales	46.694 €	124.982 €
Incremento precio energético	3,50%	3,50%
Diferencia de inversión		745.000,00 €

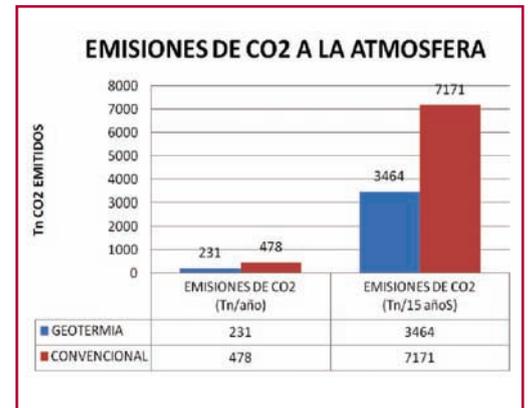
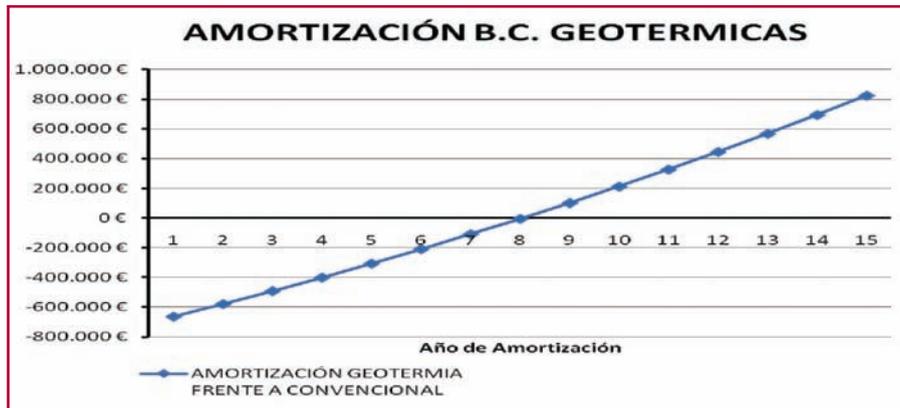


Gráfico 5. Evolución comparativa de la amortización de la instalación geotérmica en comparación con una convencional. A la derecha, Gráfico 6. Comparación de las emisiones de CO2 a la atmósfera de la instalación geotérmica en comparación con la convencional.

5. Conclusiones

Adif, para incorporar a la Red Ferroviaria de Alta Velocidad la ciudad de Cuenca y la comarca de Requena-Utiel ha construido dos estaciones intermedias en la recién inaugurada Línea de Alta Velocidad Madrid - levante.

En ellas, a través de la aplicación del concepto “Estación Sostenible 360º”, se ha buscado un equilibrio desde el punto de vista económico, social y ambiental

iniciándose en su concepción, pasando por la construcción y finalizando en su período de explotación.

Como aplicación más relevante del concepto, destaca la dotación a la Estación de Cuenca Fernando Zóbel de una climatización del edificio basado en la Energía Geotérmica. Como ventaja más importantes de este tipo de instalaciones destaca su economía, a pesar de su mayor inversión inicial, y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. ♦

Referencias:

-(1) ADIF. *Estación sostenible 360º. Manual para el Proyecto, Construcción y Gestión de las Estaciones de Ferrocarril con Criterios de Sostenibili-*

dad Integral. Madrid: ADIF, 2009.

-(2) ADIF. *Instrucciones y recomendaciones para la redacción de proyectos de estaciones ferroviarias*. Madrid: Dirección de Estudios y Proyectos de Adif, 2009.

-(3) International Geothermal Association (IGA). *Contribution of Geothermal Energy to the Sustainable Development*. Report IGA Submission to CSD 9. Pisa, 2001.