

Proyecto de Eneres para un teatro. La perforación de los sondeos ha sido ejecutada por Tepuy Ingeniería

Utilización del recurso geotérmico para la climatización mediante losas termoactivas y el pretratamiento del aire de renovación

La utilización de cualquier fuente de energía, renovable o no, para cubrir las demandas de climatización de los edificios debiera abordarse, en todo caso, reduciendo al mínimo estas necesidades mediante los recursos pasivos y de entorno que podamos aplicar, y, sólo entonces, usando la fuente energética de mejor rendimiento. En el caso de utilización de energía geotérmica, esta premisa es mucho más relevante por establecer una transferencia entre sistemas en equilibrio, el edificio y el terreno. El uso de elementos que permiten esta transferencia de manera armónica a través de su masa e inercia (estructuras y suelo), optimizan el rendimiento energético. La combinación de sistemas de intercambio energético tierra-agua y tierra-aire consigue cubrir las demandas energéticas para la climatización de un edificio, con un mínimo consumo.

Cuando se plantea el proyecto de un sistema eficiente para la climatización de nuestros edificios se debería haber cuestionado previamente si el edificio en el que se va a intervenir reúne las mejores condiciones de orientación, tratamiento de la envolvente y relación con el entorno que hagan del mismo un elemento poco consumidor de energía. Esta premisa que, desgraciadamente, no se cuestiona con mucha frecuencia, va a permitir un dimensionamiento de nuestras instalaciones muy ajustado, sin necesidad de factores de corrección de seguridad ni sobredimensionados.

En este ámbito de actuación y bajo estos parámetros, la utilización de la energía geotérmica para climatización es un recurso muy adecuado para resolver las demandas de nuestros edificios con costes ajustados y ahorros energéticos considerables en comparación con otro tipo de energías.

Geotermia en climatización, aire primario y sistemas inerciales

El uso de la *geotermia* en climatización se resume en el principio del intercambio de temperatura, cesión o absorción de calor entre el terreno y el edificio y puede producirse en dos ámbitos diferentes: el atemperamiento del aire primario de renovación y el calentamiento o enfriamiento de un fluido caloportador en el circuito secundario de producción de calor o frío del edificio.

- En el primer caso, el aire que introducen las UTA'S en el edificio no será incorporado a las climatizadoras directamente a la temperatura ambiente, sino pretratado en un intercambiador geotérmico tierra aire (Fig 1).

Este volumen de aire de renovación se in-

Palabras clave: ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS, INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS TIERRA-AGUA, INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS TIERRA-AIRE, SONDEOS GEOTÉRMICOS, SISTEMAS INERCIALES.



José FERNÁNDEZ ALVAREZ, ICCyP.
Dtr. General de **ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles, S.A.**

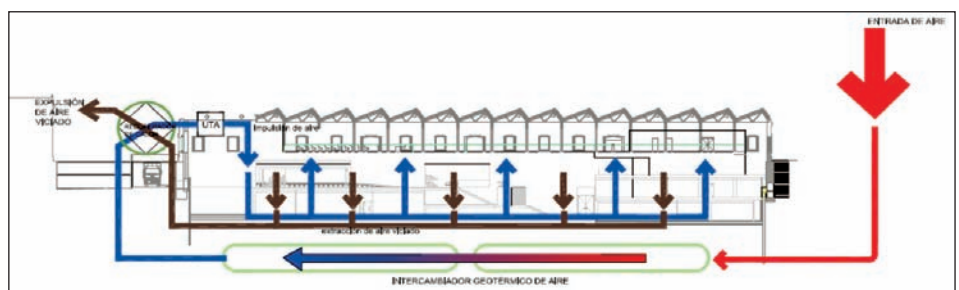
L. Raúl CASTAÑEDA VALERO, Ing. Civil UCM.
Dtr. Técnico **TEPUY INGENIERÍA, S.A.**

roducirá desde el exterior a una red de conductos enterrados que, por el contacto con el terreno circundante captarán o cederán calor de este aire al mismo antes de introducirse en

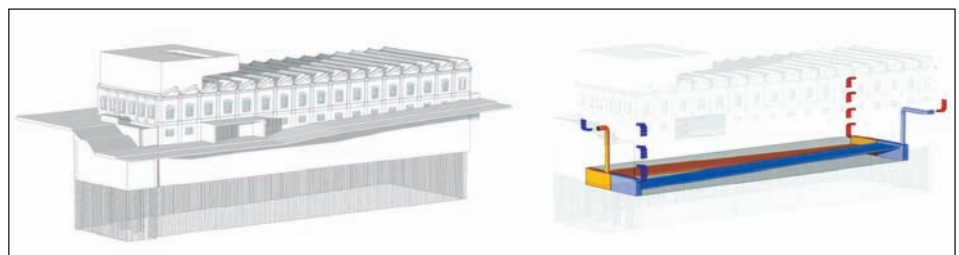
la climatizadora y distribuirse en el interior del edificio (Fig 2).

Por este mecanismo de transferencia de energía entre el caudal de aire y el terreno, el rango de temperaturas del aire en la compuerta de admisión de la UTA será mucho más cercano a las temperaturas de impulsión en el interior del edificio con el consiguiente ahorro de energía para conseguir el salto térmico necesario a la temperatura de confort.

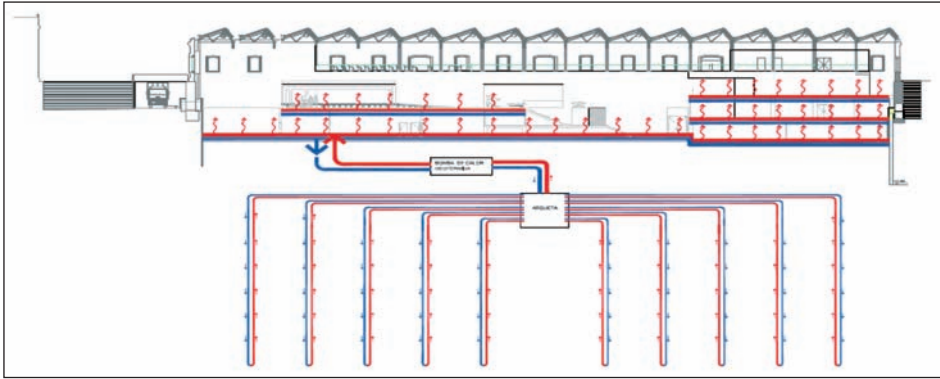
- El segundo dispositivo que se contempla es la utilización de una bomba de calor geotérmica como recurso para el calentamiento o enfriamiento de un sistema inercial incorporado a la estructura del edificio (Fig 3).



[Figura 1].- Esquema de funcionamiento del sistema de renovación de aire con pretratamiento geotérmico y recuperación de energía.



[Fig. 2].- Esquema de la red de intercambiadores geotérmicos tierra aire situados bajo el edificio.



[Figura 3] .- Esquema de funcionamiento del sistema de climatización con intercambio geotérmico en el circuito primario, bomba de calor geotérmica y losas termoactivas como sistema inercial de climatización.

La instalación constará de dos partes diferenciadas:

a) *Circuito primario* con una red de intercambiadores verticales perforados en el terreno, de profundidades que varían entre los 100 y los 200 m y unas sondas introducidas en estas perforaciones por las que circula un fluido, generalmente agua glicolada, en circuito cerrado y que permiten, por intercambio de temperaturas entre fluido y terreno, ser el elemento contra el que condense la bomba de calor geotérmica.

El rango de temperaturas de este fluido que capta o cede calor del terreno dependiendo del ciclo de la bomba (invierno-verano), es lo suficientemente estrecho para permitir que el salto térmico que debe proporcionar la bomba de calor geotérmica sea pequeño, con lo que el consumo energético sea muy ajustado y los COP's de las bombas muy altos.

b) *Circuito secundario*, formado por una red de tuberías en contacto con la masa estructural del edificio que la convierte en un elemento inercial capaz de ceder o absorber calor del edificio. Por este circuito hidráulico incorporado a la estructura, circulará un fluido caloportador cuya temperatura regulará la bomba de calor geotérmica.

Las temperaturas de servicio de esta red son, en cualquier caso, moderadas y mucho menos extremas que las necesarias para otros sistemas de climatización como radiadores o termoventiladores. El motivo de estas diferencias se deben a que, con el sistema planteado,

el elemento de climatización es la propia estructura con una masa muy importante y mucha inercia, siendo el aire, con muy poca masa e inercia, el que se calienta o enfría en los otros sistemas (Fig 4).

Procesos constructivos y puesta en obra

El sistema de intercambio geotérmico planteado, que combina dos dispositivos en el mismo entorno constructivo, debe contemplar un análisis muy detallado de las posibles interferencias entre los sistemas descritos, tanto a nivel constructivo como de interacción térmica. La coordinación de los trabajos de puesta en obra es esencial para el buen funcionamiento y ejecución del proyecto definido.

Cuando el espacio del que se dispone para la ubicación de nuestros intercambiadores obliga a la superposición en planta de los dos sistemas, la secuencia de ejecución comenzará con la perforación de las sondas verticales geotérmicas, continuará con la construcción del intercambiador tierra aire enterrado y finalizará ejecutando, sobre el relleno aislado, la red horizontal que conecte los intercambiadores verticales hasta el cuarto de bombas.

A Distinguir las dos fases en que se ejecutará la puesta en obra:

- **Construcción del intercambiador agua-tierra.**

Se trata de la red de intercambiadores verticales conectados con la bomba de calor geotérmica, que se aplicará a la calefacción y refrige-

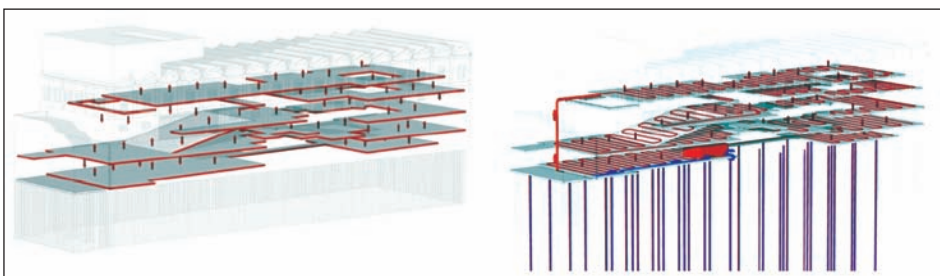
ración del edificio a través del sistema inercial de losas termoactivas.

En este punto se estará condicionado por la geometría que se dispone y que, en base a las simulaciones previas habrá determinado la separación y longitud de los intercambiadores. Estos estudios definirán la técnica más adecuada de perforación según el tipo de terreno.

En la mayoría de los casos será necesaria la utilización de lodos aditivados con polímeros para la estabilización de la perforación previa a la introducción de la sonda geotérmica. La formulación de estos lodos, su recirculación adecuada sin contaminar puede ser en muchos casos y desde nuestra experiencia, un factor clave en los rendimientos y profundidades alcanzadas en la perforación.

El relleno de la perforación una vez introducido el tubo con morteros termoconductores debe realizarse mediante tubería adicional que vaya rellenando desde el fondo de la perforación hasta la superficie para que no se produzcan obturaciones intermedias.

En la obra, situada en Madrid, y en un edificio protegido, el contratista principal es la empresa *Fernández Molina Obras y Servicios S.A.* con una prolongada experiencia en obras de rehabilitación integral, y el proyecto y obra de las instalaciones geotérmicas y termoactivas ha sido realizado por *Eneres Sistemas Energéticos Sostenibles S.L.* experta en rehabilitación para la eficiencia energética.



[Figura 4].- Esquemas de la red de intercambiadores geotérmicos tierra agua y forjados y losas termoactivas.



La obra de construcción del nuevo teatro supone la rehabilitación integral de un antiguo cuartel, protegido, en un entorno urbano. La aplicación de intercambiadores geotérmicos para la climatización eficiente del edificio supone un aporte calidad ambiental y un ahorro energético muy importantes en un proceso de rehabilitación.

La obra, además de las dificultades propias del terreno a perforar, cuenta con condicionantes de acceso y geometría que determinan las dimensiones de los equipos y el procedimiento de ejecución que por su interés detallamos a continuación.

Ejecución de los sondeos geotérmicos

Tepuy Ingeniería S.A.U., cuya principal actividad se centra en el campo de las cimentaciones especiales instalando pilotes, micropilotes y anclajes, ha sido la empresa encargada de realizar la perforación y posteriores tareas de instalación de las sondas.

Para los trabajos de perforación, *Tepuy Ingeniería S.A.U.* adquirió de *Mecanización y Minería, S.A.* (distribuidor oficial en nuestro país de *Casagrande/Hütte*), un equipo específico de perforación geotérmica, como es el **Hütte HBR 205GT**, equipado con un sistema de doble cabezal de perforación, que permite la instalación de sondas geotérmicas con la confianza de alcanzar las profundidades solicitadas entubando la perforación cuando es necesario.

Así mismo, en las inmediaciones de la perforadora se ha instalado un contenedor desde el cual se bombea agua en el sondeo a través del varillaje hasta el útil de perforación, refrigerando la herramienta de corte y sirviendo como vehí-



■ **Equipo de perforación de sondas geotérmicas y balsas de decantación de lodos.**

culo de transporte para la extracción del detritus generado durante la perforación. Una vez completado el circuito, se decanta el detritus en tanques previstos para este fin, permitiendo la reutilización de casi un 95% del agua.

Las especificaciones del proyecto exigen instalar sondas dobles de 40 mm Ø.

El circuito de captación geotérmica está formado por 35 sondas verticales de 157 metros de profundidad, con el método de circuito cerrado. El método y técnica de perforación empleado es por rotación con circulación directa y revestimiento para terrenos inestables, cuyas paredes se derrumben con facilidad.

Los principales problemas para perforar el

suelo fueron los derivados de los terrenos que componen el suelo típico de Madrid, con el siguiente perfil estratigráfico:

- Nivel freático a cota -1
- De 0 a 90 metros: Arcillas arenosas con intercalaciones de yesos.
- De 90 a 120 metros: Arcillas limosas muy blandas que se colapsan con facilidad.
- De 120 a 157 m: roca dura de yesos.

Se han realizado perforaciones con revestimiento en Ø152 mm y corona de perforación de Ø160 mm hasta los primeros 120 metros de profundidad. El varillaje interior utilizado ha sido de Ø88,9 mm con trialetas Ø127 mm para

Equipo perforador Hütte HBR 205GT

La **Hütte HBR 205 GT** es una máquina autopropulsada totalmente hidráulica montada sobre orugas. Es conforme a la normativa CE y equipa un motor Diesel de última generación con una potencia de 147 kW (197 hp) a 2300 rpm. Como características principales del equipo cabe destacar: el sistema de triple mordaza, 20 t de fuerza de extracción directamente desde el reductor de avance, estante portatubos, doble cabezal de rotación con desplazamiento lateral y sistema magnético para manipulación de la sarta de perforación.

Específicamente diseñada para aplicaciones en *Geotermia*, también se puede utilizar para perforación de recubrimientos, perforación con martillo en fondo, con hélice, perforación para inyección, perforación para exploración, perforación de pozos de agua, o micropilotaje

La unidad está provista de un sistema hidráulico *Load Sensing*. Las bombas de caudal variable están pilotadas y permiten un ajuste del caudal de aceite dependiendo de los requerimientos de la función de perforación.

Todos los movimientos de la perforadora son accionados por un control suave. Una temperatura óptima de trabajo es garantizada y regulada por un termostato que asegura el funcionamiento.

La máquina base cuenta con: 4 estabilizadores hidráulicos integrados en la anchura del carruaje; capotaje insonorizado y de fácil acceso

para labores de mantenimiento; y cinemática con dos cilindros en la parte delantera para elevación y descenso del mástil. Inclinación frontal máxima 5°.

El tren de orugas montado en el chasis base con teja metálica de 500 mm de anchura; ancho entre orugas, 2.500 mm; longitud total, 3.060 mm; altura sobre el suelo, 430 mm; velocidad de desplazamiento, 1,81 km/h. Equipa control remoto vía radio, para toda la cinemática, ajustes y funciones de perforación: rotación, avance, mordazas, apertura, cinemática, estante de tuberías, y bomba de agua.



El mástil de perforación **Hütte DM300** con cilindro de avance, y una longitud total de 8,36 m. La longitud de avance con doble cabeza, es de 6,70 m. Fuerza de avance, 100 kN (10 t); fuerza de retracción 200 kN (20 t); velocidad de avance máx., 50 m/min; y radio de avance rápido, 12 m/min.

Cuenta con guías de deslizamiento con bajo mantenimiento, con soporte de cadena central para las cabezas de rotación tipo **HG24/HG12** con movimiento lateral hacia la izquierda; incluyendo cilindro de desplazamiento de 400 mm de carrera **HG24** hacia **HG12**; cinemática con dispositivo para doble cabeza tipo **Hütte HG24/HG12**

Sistema de doble mordaza **Hütte CB 2-1**, con portainsertos e insertos autocentrables, y apertura de 68 a 254 mm Ø, montado en consola. Mordaza de cierre adicional **C 2-1**, que incluye un juego de insertos. Cabrestante de servicio **A2**, con 30 m de longitud de cable, y fuerza de tiro, de 20 kN. Soporte poleas, con brazo extensible 1000 mm y giro 40° en la dirección de desplazamiento, incluyendo guía del cable.

Estante para tubería (*rack*). Situado en la dirección de desplazamiento a la derecha con cilindro de inclinación y capacidad: 27 x Ø152,4 mm, + 27 x Ø 88,9 mm; y sistema de manipulación de tubería magnético y control remoto.


Mecanización y Minería, S.A.
www.mymineria.com



Introducción de la sonda doble de intercambio geotérmico, pruebas de estanqueidad e inyección de la perforación.

materiales blandos y medios. Además se ha optado por usar roscas de tipo cilíndrico en el varillaje interno y extremos reforzados con sobre diámetro en la zona de las rosca. El uso de rosca cilíndrica en lugar de la cónica API 2 3/8" regular o API 2 3/8" IF proporciona un mayor diámetro de paso para el fluido de perforación minimizando las pérdidas de carga en la sarta.

- Desde el metro 120 hasta el 157, se ha perforado sin revestimiento en Ø127 mm con trialetas para materiales muy duros.
- Una vez realizada la perforación, se procedió a introducir la sonda presurizada y la realización del primer test de estanqueidad para comprobar la integridad de la misma. Cada test, tiene una duración aproximada de 30 – 45 min.
- Superado con éxito el test de estanqueidad, se inyecta la sonda, teniendo en cuenta que el nivel freático se encuentra a cota -1 m.

• Construcción del intercambiador aire-tierra

Se trata del sistema de intercambio geotérmico para el precalentamiento del aire de renovación aportado al edificio.

Una vez ejecutada la red de intercambiadores verticales se procederá a la excavación en vaciado del terreno donde se va a situar la red de colectores enterrados por los que circulará el aire de renovación.

Es necesaria la correcta señalización de las perforaciones ejecutadas previamente para prevenir roturas de las sondas durante este proceso. Así mismo será necesario aislar el tramo en contacto con el volumen de relleno posterior para no desvirtuar la temperatura del terreno en ese tramo por la circulación del fluido caloportador.

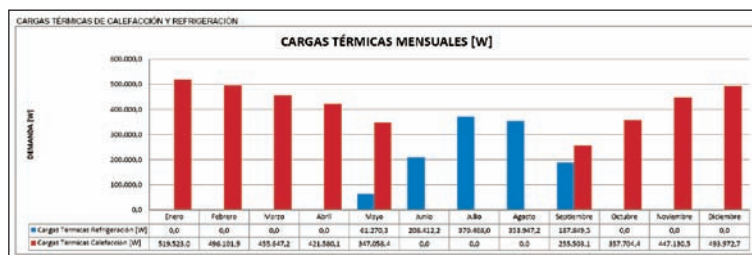
Todos los colectores de aire deben tener una pendiente adecuada para la evacuación de posibles condensaciones y su conexión con el colector general de admisión o impulsión debe ejecutarse de manera estanca.

El diseño de este colector dentro del edificio deberá proyectarse considerando las cargas transferidas por las cimentaciones del mismo.

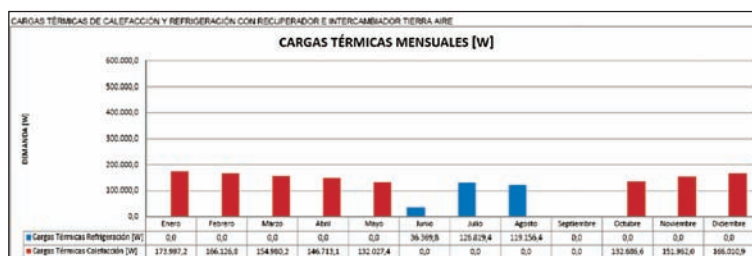
En su construcción deben cuidarse especialmente el tratamiento de las superficies en contacto con el aire que transferimos al edificio una vez pretratado. Además debe contar



Proceso de ejecución de intercambiadores aire-tierra con los intercambiadores verticales tierra-agua ejecutados.



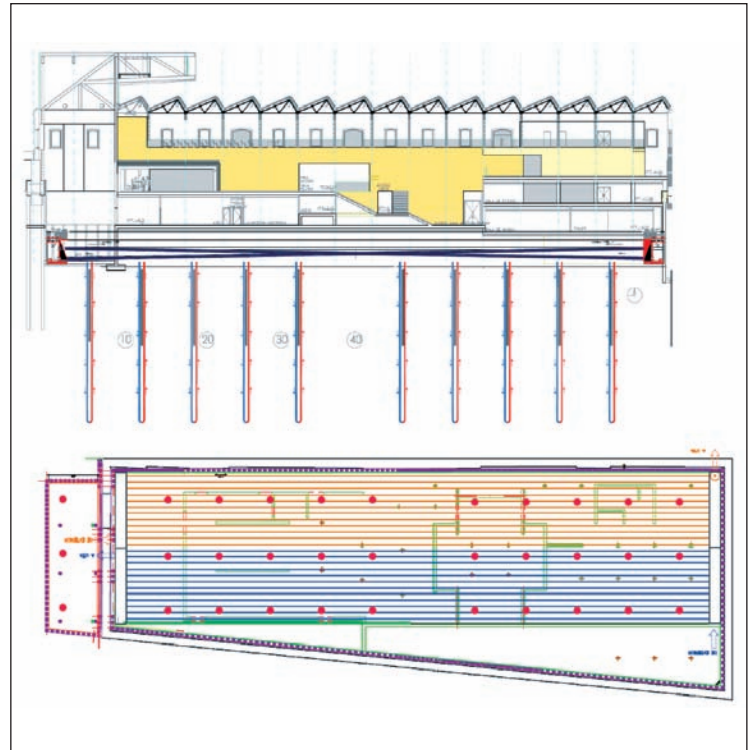
[TABLA I].- Potencia en calefacción y refrigeración en un periodo anual.



[TABLA II].- Demanda de potencia a cubrir con la bomba de calor geotérmica una vez incorporados el pretratamiento del aire y el recuperador de calor.



Vista general del edificio en fase de rehabilitación y construcción de los intercambiadores geotérmicos.



[Figura 5].- Sección y planta del edificio con los intercambiadores aire-tierra y aire-agua.

Teatro infantil y Centro cultural en Madrid

Corresponde este caso a una intervención en rehabilitación promovida por el Ayuntamiento de Madrid para la recuperación de unos antiguos cuarteles en el complejo de Daoiz y Velarde.

La obra recupera una antigua nave que servía de almacenamiento de piezas de artillería, para el uso de teatro infantil y locales destinados a actividades culturales.

La actuación contempla la construcción de una pantalla perimetral de pilotes que permite un vaciado de la cota actual a la -8,80. En la totalidad de la planta, se han distribuido una red de 33 perforaciones para intercambiadores verticales geotérmicos con una profundidad de 157 m que alimentan a un grupo de bombas geotérmicas con una potencia instalada en calefacción de 174 kW y 127 kW en refrigeración.

El sistema de climatización del complejo se ha completado con una superficie de losas de hormigón termoactivadas de 7.200 m².

La ejecución de las perforaciones se realizó con el revestimiento total de la longitud perforada debido a la naturaleza del terreno. La sonda utilizada ha sido doble U PE-100 Ø 32 y contrapeso en punta. Finalmente, para el material de transferencia del relleno de la perforación, se utilizó cemento-bentonita con un $\lambda = 1,7$.

La instalación de intercambio tierra aire, construida a continuación de la red de intercambio vertical, está constituida por dos in-

tercambiadores que alimentan a dos climatizadoras situadas en los dos extremos del edificio.

Las características de los dos sistemas son idénticas, correspondiendo cada uno a una red de tubería de PVC, sistema AKWA-DUT de Rehau de diámetro 315 mm, formada por 12 tubos de 80 m de longitud, enterrados a una profundidad mínima de 1,00 bajo la losa de cimentación del edificio. La red de tubería está conectada a una galería construida de hormigón gunitado que en el extremo de admisión tiene unas dimensiones de 16 (l) x 1,80 (a) x 1,5 (h) m, y en el de impulsión 19 (l) x 1,80 (a) x 2,7 (h) m.

Esta galería está diseñada para ubicarse bajo la losa de cimentación del edificio y provista de un sistema de bombas de achique para evacuación de aguas de condensación o procedentes de filtración.

El volumen de aire total pretratado en esta red de intercambiadores es de 40.000 m³/h, que convierten a esta instalación en la mayor construida en Europa hasta la fecha.

Intercambiador aire-tierra:

- Dos sistemas simétricos superpuestos.
- 1.920 ml de conducto de 315mm PVC, Akwadut Termo de Rehau.
- Profundidad 1 - 2 m bajo losa cimentación (espesor losa 80 cm).
- Galerías de admisión 2 galerías de 16m x 1,80m x 1,50 m.
- Galerías de impulsión 2 galerías de 19m x 1,80m x 2,70 m.

- Volumen de aire pretratado 24.000.- m³/h.

Intercambiador agua-tierra:

- 33 intercambiadores verticales de 160 m de profundidad.
- Sonda en doble "U", diámetro 32 mm.
- Potencia instalada:
 - 174 kW calefacción.
 - 127 kW refrigeración.

ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles

Apolonio Morales, 29 • 28036 Madrid

☎: 917 589 720

E-m: eneres@eneres.es

Web: www.eneres.es

TEPUY Ingeniería, S.A

Pedro Villar, 17 • 28020 Madrid

28350 Ciempozuelos (Madrid)

☎: 915 707 848

E-m: tepuy@tepuy.es

Web: www.tepuy.es