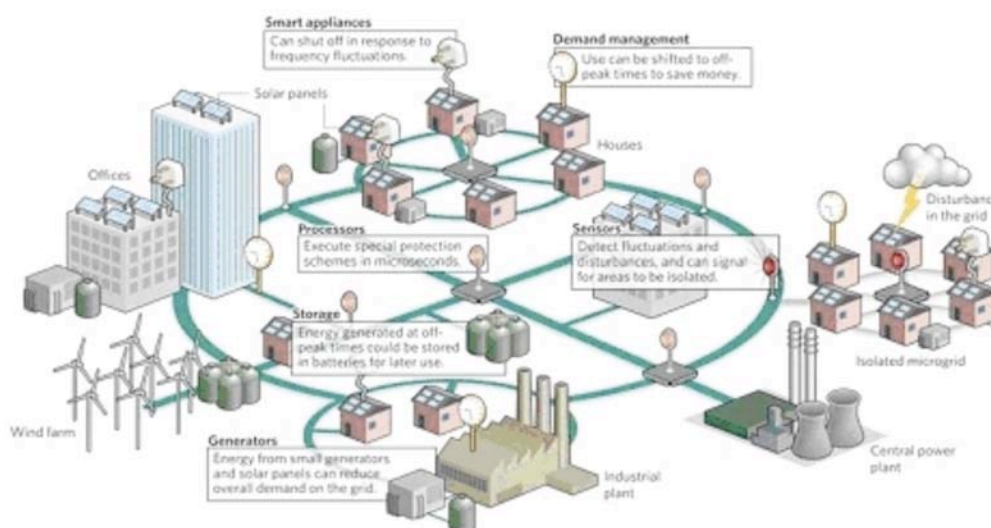


Aprovechamiento geotérmico de la energía residual de los sistemas de infraestructuras urbanas subterráneas.

El caso del Metro de Madrid

Luis de Pereda Fernández. Arquitecto. Director de Proyectos. ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles
Manuel Mallo Sanz. Arquitecto, Director de Eficiencia Energética. ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles



Las infraestructuras urbanas subterráneas integradas en las redes energéticas actúan como sistemas de generación distribuida, almacenamiento y consumo interactuando con otros sistemas de la red.

Hacia una nueva visión del ecosistema energético. Concepto integral de los sistemas energéticos urbanos

El campo de desarrollo de iniciativas en pro de la sostenibilidad y la eficiencia energética es cada vez más amplio y los frentes de actuación se van multiplicando a medida que nuestra sociedad va asimilando la experiencia, los aciertos y errores, de las acciones que en cada

capítulo de la recién iniciada lucha por la recuperación del equilibrio ambiental, vamos acometiendo.

Nuestro método científico propicia la disección del problema y su desintegración en campos de especialización. La dinámica de nuestro sistema económico, según la cual el crecimiento es proporcional al consumo, propicia la rápida explotación de los nichos de mercado, el rendimiento inmediato y los compartimentos estancos en las unidades de

negocio. El tiempo en nuestro sistema político exige el lanzamiento de iniciativas de acción rápida y resultados evidentes.

En los últimos años, a cada empujón dado a la implementación de políticas energéticas para la sostenibilidad ha seguido una fase crítica sobre los resultados y un proceso correctivo. Por el camino han quedado una buena cantidad de recursos aportados por el conjunto de los ciudadanos para la implementación de políticas y la creación de estructuras e infraestructuras básicas, que en términos generales han sido explotadas en beneficio del colectivo pero también, y a veces más de lo que hubiese sido deseable, de intereses particulares.

Nos encontramos ahora en una de esas encrucijadas críticas. Tras haber invertido importantes recursos en el área la generación eficiente de la energía, es en este momento cuando se evidencian las debilidades de un modelo centralizado de producción, de un sistema unidireccional ineficiente de distribución, y de un concepto global que deja en un plano secundario la parte esencial de la solución, la reducción de la demanda energética.

Si damos unos cuantos pasos atrás dejaremos de ver la piel de los árboles para volver a ver los árboles y el bosque, y recuperaremos la perspectiva global del problema. El contexto de nuestro estudio a escala urbana es el de un ecosistema-energético que pretendemos dotar de equilibrio y sostenibilidad.

Nos referimos a una comunidad energética a escala urbana y a los factores físicos que configuran su entorno, a los procesos de relación entre los distintos componentes del sistema energético, y a las transformaciones y los ciclos de la energía, que son los elementos y los procesos que determinan el campo del ecosistema energético. La interacción entre todos los organismos del sistema y la que tienen con el medio en el que se desarrollan, y el estudio de sostenibilidad y eficiencia energética se debe desarrollar a nivel individual, a nivel de la población, a nivel de la comunidad y a nivel del ecosistema energético.

Los estudios a escala urbana examinan cómo los distintos tipos de agentes y estructuras energéticas interaccionan como consumidores o generadores de recursos o como

competidores con las mismas necesidades y sobre recursos comunes. La visión del sistema energético como un ecosistema nos permite ver como se comporta en conjunto. En lugar de centrarnos en el estudio de los casos particulares vamos a ver los aspectos operativos más importantes del sistema, por ejemplo la cantidad de energía que se produce e introduce dentro del sistema, cómo fluye la energía en los distintos escalones en la cadena “alimenticia” del consumo energético, o los factores que determinan la tasa de desperdicio energético o la tasa de reutilización de la energía residual dentro del sistema.

En este contexto se está planteando, y a nivel inicial, produciendo, una transformación del sistema, de los medios de generación y producción de energía y sobre todo de las redes estructurales de distribución y gestión, que van a permitir integrar dispositivos distribuidos de generación, consumo y almacenamiento e implementar procesos “inteligentes” de medición, control, gestión e interacción en y entre los distintos componentes del ecosistema energético, y con otros ecosistemas energéticos eficientes.

La integración de los dispositivos distribuidos de generación y microgeneración de energía y de los dispositivos de almacenamiento en una red distribuida e integrada, permite desarrollar procesos homeostáticos para el equilibrio constante del ecosistema energético y procesos simbióticos para la interacción entre subsistemas mediante la transferencia de energías que en un subsistema son residuales y en otro pueden ser primarias; y el retorno energético o económico.

En la gestión eficiente de la producción y el consumo de energías de fuentes renovables solar o geotérmico, energías residuales, y energías de generación y microgeneración distribuida, cobran especial importancia como componentes de la red los dispositivos que permiten la acumulación, el almacenamiento y el uso de energías de media y baja potencia.

El intercambio geotérmico permite la utilización inercial del terreno y de la masa construida de los edificios y las infraestructuras, para la acumulación de grandes cantidades de energía térmica con potencias bajas y bandas moderadas de temperatura, es por tanto un medio para acumular la energía térmica

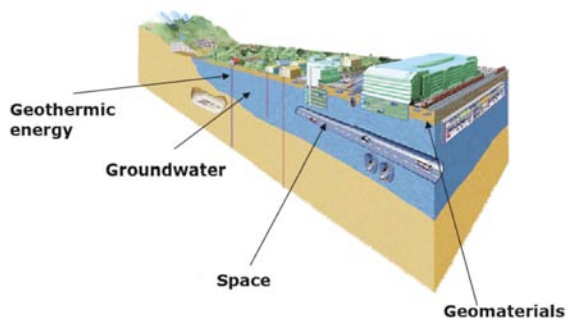
generada y a menudo considerada residual, por sistemas industriales e infraestructuras urbanas y propiciar su reutilización con costes muy bajos, y ciclo de vida muy largo. La acumulación de energía térmica en el terreno se puede también aplicar a sistemas integrados y distribuidos de captación solar térmica.

La geotermia es también un medio de generación distribuida de energía térmica, y asociado a la utilización de la bomba de calor geotérmica con captación abierta o en circuito cerrado de captación, permite la extracción y el intercambio de energía de fuentes renovables y también el aprovechamiento de energías “residuales” de distintas fuentes.

Infraestructuras urbanas y sistemas subterráneos habitados. Geotermia en la generación y almacenamiento de energía

Nuestras ciudades disponen de numerosas y extensas redes y sistemas de infraestructuras que interactúan con el medio generando, captando y canalizando campos energéticos de distintos tipos. Entre ellas hay un buen número de redes y sistemas de infraestructuras subterráneas: aparcamientos, sótanos, galerías de circulación, galerías de servicios, grandes galerías de saneamiento urbano, infraestructuras completas como el Metro, túneles de circulación de vehículos, redes enterradas de distribución de agua y un largo etcétera que se encuentran enterradas y en contacto directo con el terreno.

Precisamente éste contacto directo brinda a todas estas infraestructuras la capacidad de intercambiar térmicamente con el terreno, y actuar como:



Recursos subterráneos en la ciudad

- ✓ Captadores de la energía geotérmica que en ingentes cantidades nos rodea y que proviene en su mayor medida de la radiación solar que impacta la superficie terrestre, y en menor cuantía del interior de la tierra, y de sus profundos procesos nucleares, y que se concreta en el hecho de que ya a muy poca profundidad, la temperatura en reposo del terreno es prácticamente constante, e independiente de la temperatura exterior, y coincide prácticamente con la media anual del lugar.
- ✓ Intercambiadores para acumular o absorber del terreno la energía procedente o destinada a las propias infraestructuras enterradas o a otros medios con los que interactúan.
- ✓ Acumuladores para el intercambio estacional de energía o para absorber el desfase entre los periodos de generación y los periodos de consumo de energía de las propias infraestructuras enterradas o de otros medios con los que interactúan.

Para el aprovechamiento del potencial geotérmico de todos estos sistemas enterrados hay numerosos procedimientos, según sea el uso que se le va a dar a la energía extraída o inyectada al terreno.

Algunos de estos sistemas de infraestructuras subterráneas son redes de conductos por los que circulan fluidos que intercambian directamente energía con el terreno, pero el caso que vamos a exponer pertenece a la amplia familia de las estructuras subterráneas habitables, construidas con obra de fábrica u hormigón de elevada conductividad térmica, que pueden ser termo activadas para su uso como intercambiador, incorporando circuitos de transferencia de energía que llevan en su interior un fluido caloportador, es la forma más usada, aunque existen otros medios de realizar la transferencia energética, como el aprovechamiento de la energía de las aguas de infiltración de túneles, el intercambio abierto con capas freáticas presentes, o el intercambio tierra-aire en instalaciones para pretratar el aire de renovación de los edificios.

Los elementos termoactivables de captación geotérmica usados por Eneres-Enercret van desde las pantallas discontinuas de pilotes, los muros pantalla, losas de cimentación

termoactivadas, pilotes, dovelas de túneles termoactivadas, recubrimiento termoactivo interior de túneles, intercambiadores verticales y horizontales, anclajes intercambiadores, etc. Con ellos es posible construir un nuevo túnel o edificio enterrado, dotado ya desde el origen de los dispositivos que le permite actuar como intercambiador, o termoactivar construcciones existentes para realizar la misma función.

La transferencia de energía desde la infraestructura que intercambia energía con el terreno, al ámbito y sistema donde se va a aprovechar dicha energía (edificio, infraestructura, industria, dotaciones, espacios exteriores acondicionados térmicamente, etc.), se realiza por la mediación de una bomba de calor agua-agua que mueve la energía entre los dos focos de calor, con un consumo de energía eléctrica. Cuanto menor sea el salto térmico entre el medio servidor y el servido por el intercambio energético, menor será la cantidad de energía eléctrica que consumirá la bomba de calor geotérmica para hacer su trabajo. La cuidada elección de los rangos de temperaturas operacionales es de gran importancia para ejecutar sistemas eficientes, con coeficientes de rendimiento (COPs) globales anuales superiores a 4. El manejar acertadamente las situaciones energéticas de baja exergía que en la mayoría de los casos se producen, es esencial para lograr que las instalaciones geotérmicas logren el equilibrio y la coherencia óptimos, además de la optimización en costes y la máxima eficiencia.

La correcta elección del rango de temperaturas y los sistemas de transferencia energética en los circuitos primarios y secundarios, puede posibilitar en determinados momentos del año, que la transferencia de energía se produzca sin la intervención de la bomba geotérmica, funcionando por libre circulación del fluido, con un gasto de energía virtualmente nulo, y un COP muy elevado, cercano a 50.

En el aprovechamiento energético para climatizar edificios, infraestructuras o espacios, el mejor rendimiento global se consigue nuevamente con sistemas que trabajen a la menor temperatura posible en invierno y a la mayor en verano, con sistemas de baja exergía y, por tanto, gran superficie, como los forjados y estructuras termoactivos, que aprovechan la gran inercia térmica que poseen las estructuras horizontales en los edificios, consiguiendo uniformizar las temperaturas interiores a lo

largo de todo el año, y dotándoles de un gran confort radiante.

En función de las necesidades energéticas del edificio a climatizar a lo largo de todo el año, el terreno se utiliza como equilibrador energético anual, es decir, gracias a las características geológicas, geotécnicas, mecánicas, físicas y químicas del terreno, éste tiene un comportamiento cuantificable en numerosos coeficientes que definen su comportamiento y que se utilizan para las simulaciones, como su conductividad térmica, capacidad térmica, difusividad, inercia, etc., orientados a conocer las capacidades del terreno para conducir la energía, y conocer de qué manera y a qué velocidad se mueve ésta en forma de calor a su través.

Siempre que las características del terreno lo permitan, en invierno almacenamos frío en el terreno para utilizarlo en verano, y en verano recargamos de calor el suelo para utilizarlo en invierno. Con el conocimiento tanto de las necesidades energéticas del edificio como de las características del suelo, verificamos a través de la simulación del comportamiento del sistema de intercambio, extendida a cincuenta años de su ciclo de vida, que el terreno alcanza un equilibrio cierto, y que éste se mantiene en el tiempo, como exigen las Normativas Europeas más avanzadas. El no hacerlo así, compromete seriamente la estabilidad funcional, el rendimiento y la eficiencia, de la instalación de intercambio.

La superficie de un aparcamiento bajo rasante en contacto con el terreno, termoactivada para trabajar como intercambiador y extraer energía para climatizar el edificio que tiene encima, los sótanos de los edificios que intercambian energía con el terreno, las galerías subterráneas que permiten pretratar aire al hacerlo circular a su través, las cimentaciones termoactivas y los campos de intercambiadores verticales aplicados climatizar edificios o para aportar energía a procesos industriales, las losas de cimentación como intercambiadores energéticos, los colectores de la red de saneamiento o la red de distribución de aguas, son todos elementos en contacto con el terreno y pasivos, es decir la cantidad y calidad de la energía que se puede sacar de ellos responde exclusivamente a su capacidad de intercambio con el terreno.



Aprovechamiento de la energía de la red de saneamiento urbano para la climatización de edificios.

Fuente: Suez.

Aprovechamiento y gestión de energías residuales de supersistemas de infraestructuras enterradas

También existen infraestructuras que además generan como elemento residual enormes cantidades de energía en forma de calor, que en términos generales son consideradas como un residuo no aprovechable, se ignora su potencial de utilización y si generan efectos molestos indeseables se eliminan .

Las redes de saneamiento urbano son un ejemplo de sistemas donde sobra calor en invierno y actualmente no se aprovecha, aunque sería sencillo hacerlo. En la mente de todos está el vapor saliendo por imbornales y tapas de alcantarillas en invierno. Más de una decena de proyectos construidos en Europa permitido

comprobar la efectividad del intercambio con la red de saneamiento como fuente energética para la climatización de edificios.

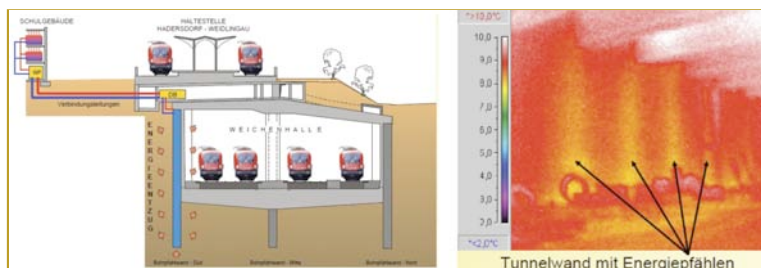
Un caso ejemplar ejemplo de infraestructura que genera un valioso caudal energético a baja temperatura, y lo trata como un residuo, es la red del Metro.

El conjunto de túneles de la red de Metro constituye un gigantesco intercambiador geotérmico, la introducción de enormes cantidades de energía eléctrica para la alimentación de trenes y maquinaria genera dentro de este intercambiador y de las estaciones enormes cantidades de energía térmica que se considera un residuo, se extrae y se expulsa de la infraestructura para disiparla en la atmósfera, en el medio.

En España, la termoactivación de túneles es una actividad no desarrollada ni experimentada, no así en centro Europa, donde nuestra empresa, ENERES / ENERCRET ha participado en importantes proyectos y obras para la termoactivación de túneles ferroviarios y de metro con el objetivo doble de transferir al terreno y almacenar la carga térmica indeseable en las instalaciones subterráneas, y para proveer de energía térmica a edificios e industrias cercanas.

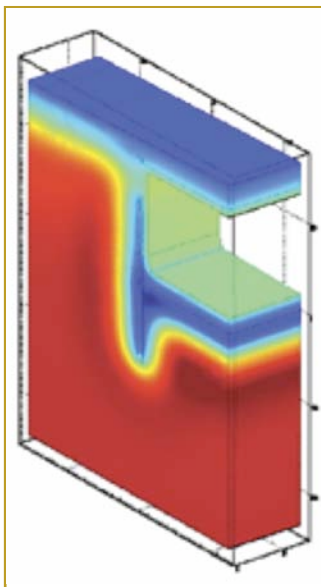
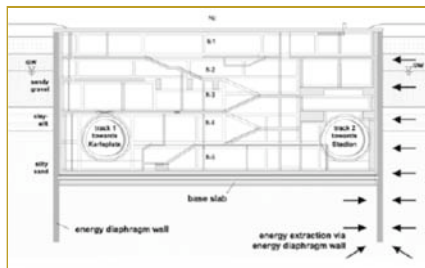
En Suiza se está aprovechando la energía intercambiada por varios túneles de vehículos para climatizar sus edificios de control y mantenimiento, así como para calefactar la capa de rodadura de las carreteras en los accesos a los túneles, garantizando un deshielo total de éstas y la seguridad de los usuarios.

Casos como el túnel Lainzer en Viena, donde hemos termoactivado las pantallas de pilotes para obtener la energía que se aporta a un edificio escolar y un complejo industrial, muros pantalla de hormigón armado, y pantallas de pilotes, o como la línea U2 del metro de Viena, donde



Lainzer Tunnel. Viena. Tunnel termoactivo para intercambio geotérmico con bomba de calor.

Fuente Enercret.



Pantallas y losas termoactivas en cuatro estaciones de la línea U2 del metro de Viena, aplicadas a la calefacción y la refrigeración de las zonas públicas.

nuestra empresa ha realizado la termoactivación de muros pantalla así como losas de cimentación para climatizar los andenes y dependencias en cuatro estaciones, representando la primera aplicación a escala completa de la tecnología de termoactivación en la ingeniería ferroviaria mundial, o las obras de ampliación del Metro de Stuttgart donde en túneles de nueva construcción se ha construido con dovelas prefabricadas dotadas de circuitos y conectores embebidos, para el intercambio geotérmico en tramos discontinuos del túnel. Todos ellos son ejemplos, en la punta de la innovación, del estado actual de esta técnica, en países de nuestro entorno, donde se considera prioritario el aprovechamiento del enorme potencial energético, térmico, que ofrecen las infraestructuras enterradas de instalaciones y transporte.

El caso del Metro de Madrid

Un caso parecido que hemos analizado y sobre el que proponemos aplicar estas técnicas, innovar y desarrollar modelos de actuación en España es el del Metro de Madrid, que en el mes de agosto de 2007 contaba con una infraestructura enterrada compuesta por 293 estaciones y un total de 287 Km de túneles.

Ya sólo desde un punto de vista pasivo, se trata de un intercambiador geotérmico gigantesco, con un tamaño tal, que si se termoactivara la totalidad de la superficie de sus túneles, con un estimado de potencia de intercambio a razón de 20 a 25 w/m², la potencia conjunta del intercambiador estaría en torno a los 187Mw. En términos energéticos



La estructura subterránea del Metro de Madrid. 287 km de túneles, 293 estaciones.

Un gigantesco intercambiador geotérmico. Metro de Madrid.



El esquema de la instalación de renovación de aire del Metro de Madrid. Un sistema ligado a la consideración residual de la energía térmica generada por los sistemas mecánicos, a la extracción y disipación del calor en la atmosfera y al progresivo recalentamiento de la infraestructura enterrada.

estaríamos hablando de la producción con fuentes renovables de aproximadamente 1.638.120 Mwh año. Esta aproximación, conceptual, nos ilustra sobre el enorme potencial energético de esta infraestructura.

Metro de Madrid no opera con su red enterrada como intercambiador pasivo para transferir o aprovechar la energía geotérmica, y además inyecta cada año en su interior alrededor de 711.000 Mwh de energía eléctrica, de la cual corresponden a electricidad consumida por los trenes, motores, frenos, etc.. aproximadamente un 80%, unos 616.000 Mwh año; de ésta energía el 70%, unos 431.000 Mwh año, se transforman en calor, disipado en los procesos de arranque y las paradas de los trenes.

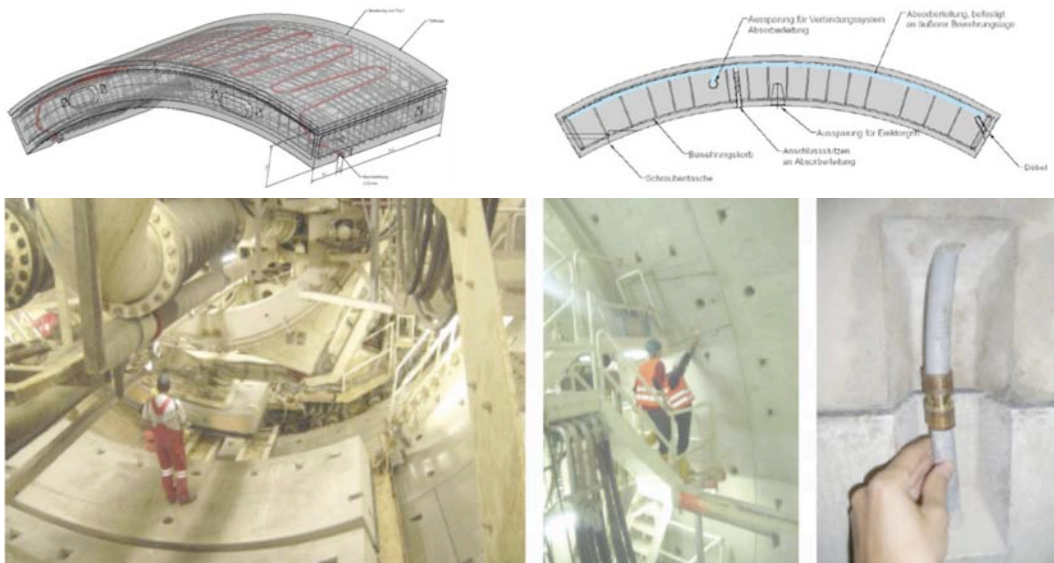
Este calor disipado en arranques y paradas, se genera prácticamente en su totalidad en las estaciones o su entorno inmediato, por lo que si no se controla, se extiende y reparte por los espacios de las estaciones, y luego es difícil y costoso eliminarlo con los sistemas de ventilación y refrigeración. Si, como se ha realizado ya en algunas líneas de metro en el extranjero, se confinan los trenes en zonas de embarque delimitadas mediante mamparas, se puede fácilmente confinar, extraer y evacuar el aire caliente en el punto y la zona de generación del calor y canalizar, y por tanto dirigir y aprovechar este gran flujo de energía, de una forma relativamente sencilla conduciéndolo hacia intercambiadores térmicos para ceder el

calor a un fluido, o utilizar el calor del aire evacuado directamente.

En el Metro de Madrid, estimamos que de estas cantidades, son fácilmente recuperables en andenes el 50% de los 431.000 Mwh año, es decir 215.000 Mwh año y en los túneles el 25% de 616.000 Mwh año, que son 154.000 Mwh año, que totalizan un total recuperado de aproximadamente 369.000 Mwh año. El extenso trazado de la red de Metro permitiría la dotación con cientos de puntos de intercambio y almacenamiento de energía ara el abastecimiento a baja temperatura de los edificios, espacios e infraestructuras públicas de su entorno.

En lo que se refiere a la técnica de recuperación de la energía de los túneles, Hay varias posibilidades de actuación :

- ✓ La primera es realizar un simple intercambio térmico con el aire contenido en los túneles para extraerle su calor antes de evacuarlo al exterior, y este calor, o bien cedido al aire o bien a un fluido caloportador, llevarlo hasta un punto de utilización.
- ✓ Otra manera de aprovechar la energía contenida en los túneles es utilizar dovelas de hormigón prefabricado dotadas de circuitos de intercambio embebidos, para una vez construido el túnel, poder realizar un intercambio geotérmico con la totalidad de su superficie. Este intercambiador puede valer para refrigerar o calefactar un edificio, un espacio público, o a una industria que lo necesite, y puede utilizarse como acumulador interestacional de energía si la geología del terreno lo permite. Esta solución se practica en túneles de nueva construcción, y es la que se ha empleado, por ejemplo, en los túneles de la ampliación de la red de metro de Stuttgart. Las dovelas se prefabrican con un intercambiador en su interior, y según se colocan, se van uniendo los diferentes circuitos con manguitos para llevarlos hasta los colectores principales de las bombas geotérmicas.
- ✓ El tercer método de intercambio está especialmente diseñado para activar para su utilización térmica, termoactivar,



Construcción de un túnel con dovelas prefabricadas termoactivas para el intercambio geotérmico. Ampliación de la red de metro de Stuttgart. Zublin / Rehau.

túneles ya construidos. Se fundamenta en la colocación de la red de conductos por los que circula el fluido de intercambio, integrada en una base geotextil que es fijada a las paredes y la bóveda del túnel por medios mecánicos, y recubierta de una serie de capas con el objetivo de fijar el revestimiento y aislarlo para evitar

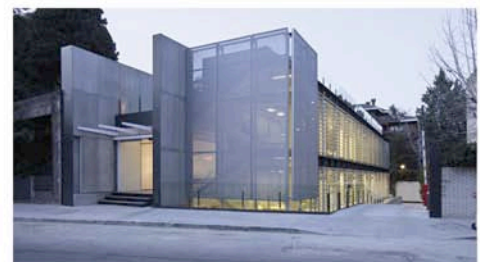
pérdidas de energía. En función de los materiales de construcción de la bóveda, esta solución puede ser prácticamente equivalente a la de las dovelas termoactivadas, según sea la conductividad térmica de los elementos constructivos empleados. Esta solución se puede complementar con la colocación de

eneres Sistemas Energéticos Sostenibles



Instalación geotérmica y termoactiva. Nuevo teatro infantil en los cuarteles de David y Velarde, Madrid

- Auditoría y consultoría, servicios energéticos.
- Ejecución de infraestructuras e instalaciones "llave en mano".
- Instalaciones geotérmicas y estructuras termoactivas.



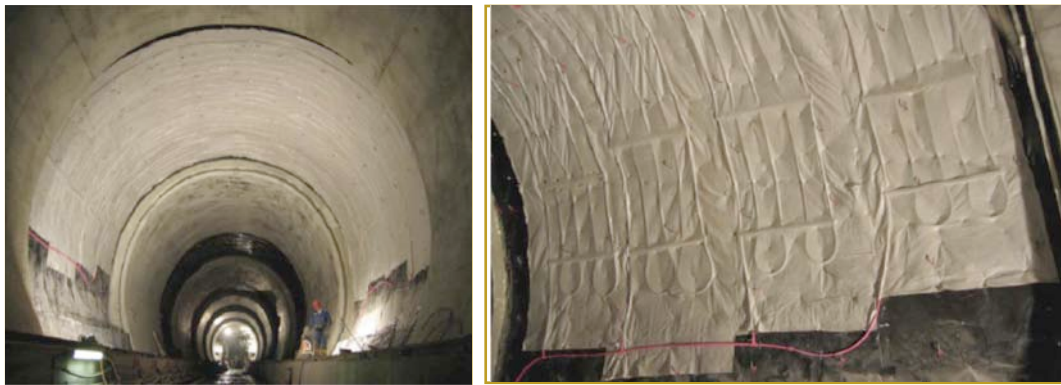
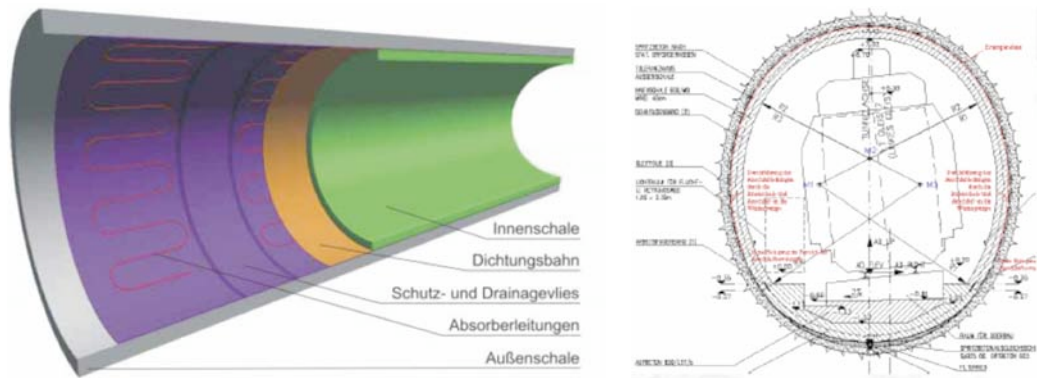
Apolonio Morales 29, Madrid.

Mención de Honor a la Mejor Instalación Geotérmica en el Sector Industrial y de Servicios de la Comunidad de Madrid en 2009, concedido por la Consejería de Economía.

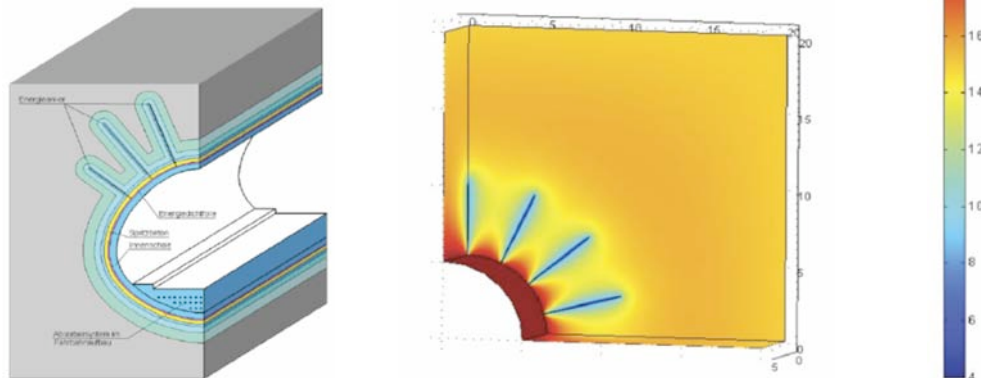


Margaritas 52, Madrid.

Premio a la Mejor Instalación Geotérmica en el Sector Residencial de la Comunidad de Madrid en 2009, concedido por la Consejería de Economía. Mención especial otorgada a la EMVS en los PREMIOS ASPRIMA-SIMA 2010 en la categoría de Mejor Iniciativa Tecnológica y Sostenible en Edificios.



Termoactivación de túneles existentes mediante el trasdosado multicapa con circuitos de intercambio sobre base geotextil y aislamiento.



Sistema integrado de intercambio termoactivo formado por un túnel termoactivado y anclajes termoactivos, para la captación y el intercambio geotérmico y losas termoactivas para la climatización de los andenes.

anclajes termoactivados perforados de forma radial al túnel, que cumplen con la doble función de anclaje estructural e intercambiador térmico.

Si al aprovechamiento de la red de túneles de Metro de Madrid como intercambiador pasivo (1.638.120 Mwh año), le sumamos el potencial aprovechamiento de la energía térmica que se produce en la instalación podríamos extraer de esta infraestructura enterrada unos 2.409.120

Mwh año, el equivalente a casi el 20% del total de consumo anual de la Comunidad de Madrid.

A día de hoy, un gran porcentaje de los 711.000 Mwh de energía consumidos año, se intentan disipar al exterior en forma de desecho y como calor residual, sin ningún aprovechamiento. El tanto por ciento restante se queda dentro de la instalación, elevando su temperatura de forma apreciable e incrementándola sostenidamente en el tiempo. De este modo toda la red se va calentando

gradualmente y progresivamente es necesario gastar más energía en refrigerar la ya térmicamente saturada infraestructura y mantener las condiciones de confort y operatividad .

Si se extrajera energía de forma constante de los túneles y andenes, se conseguiría, por un lado aprovecharla en vez de desecharla, y por otro lado disminuir las necesidades de refrigeración, que tras muchos años almacenando calor en su interior, empiezan a ser preocupantes.

El calor residual debe ser extraído para su utilización en otro medio, y transformar el círculo vicioso actual de desperdicio y sobrecalentamiento, en un ciclo virtuoso de aprovechamiento y eficiencia energética.

Por lo tanto, para acabar con los efectos del problema, que es el aumento progresivo de temperatura de la instalación, es mejor acabar con el problema, que es el exceso de energía almacenada paulatinamente en el terreno. No es el mejor sistema deshacerse parcialmente del calor, ventilando, sino extraerlo eficientemente para poderlo utilizar en otro lugar. Si sólo se recuperaran los 369.000 Mwh año mencionados con anterioridad, además los gastos en consumo de electricidad se reducirían un 47%.

El Metro de Madrid es por tanto una infraestructura urbana enterrada con un enorme potencial para insertarse en el un

ecosistema energético sostenible como soporte de una multitud de puntos de generación, intercambio y almacenamiento de energía térmica procedente del intercambio geotérmico y el aprovechamiento de su propia energía residual. La tecnología y las técnicas para la implementación de los dispositivos de intercambio y aprovechamiento energético están ya desarrolladas y ampliamente probadas en países de nuestro entorno. Los puntos de aplicación y consumo de la energía que podría generarse en la aplicación de este concepto son cientos de edificios y espacios que rodean a la propia infraestructura enterrada y demandan energía que hoy se produce básicamente mediante combustibles fósiles. Finalmente, la extracción y canalización de la energía dentro de la red de túneles y estaciones de Metro para su consumo fuera de ella hace mucho más eficiente sus procesos de climatización y acondicionamiento ambiental en términos de consumo energético y de confort.

El caso del Metro de Madrid es un modelo del tipo de actuación sobre una súper infraestructura urbana de gestión pública, donde una visión amplia e integrada del ecosistema energético urbano, y una gestión integral y decidida de las estrategias energéticas permitirán propiciar el flujo natural e interactivo de energías entre los distintos sistemas que configuran nuestro medio urbano, reducir el consumo y la demanda de energía, y restaurar el equilibrio medioambiental.